

En este número:

- Caracterización del Senoniense Continental-Paleógeno en la Hoja de Jalance (provincia de Valencia).
- Hipótesis sobre la tectónica global de la península Ibérica.
- Medida del tiempo geológico por el método Rubidio-Estroncio.
- Litoestratigrafía y control estructural de la mineralización antimonífera de la franja calcárea-devónica de Alburquerque (Badajoz).
- Las mineralizaciones paleozóicas de hierro del sector central de la cordillera Ibérica (área de Moncayo).
- Algunos aspectos relativos a la calidad del agua en acuíferos subterráneos carbonatados.
- El concepto de arcilla. La problemática de su definición y clasificación.
- Estudio de inclusiones fluidas en los depósitos de fluorita de Berbes; Asturias, España.

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

T. LXXXIX, Primer Fascículo. Enero - Febrero 1978

# boletín geológico y minero

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







**INI**  
empresa nacional adaro  
de investigaciones mineras, s.a.

**exploración, investigación e  
ingeniería de desarrollo de recursos  
del subsuelo y plataforma continental**



**geológicos  
minerales  
hidrogeológicos  
geotérmicos  
geotécnicos**

**protección del medio ambiente  
y tratamiento de residuos  
urbanos e industriales**

**ordenación geológica  
de la infraestructura para el  
desarrollo regional**

**domicilio social y gerencia:**  
serrano, 116. madrid-6  
☎ 262 41 10\*

**centro de investigación "juan gavala"**  
carretera de andalucía, km. 12  
getafe (madrid)  
☎ 797 34 00\*

## **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**

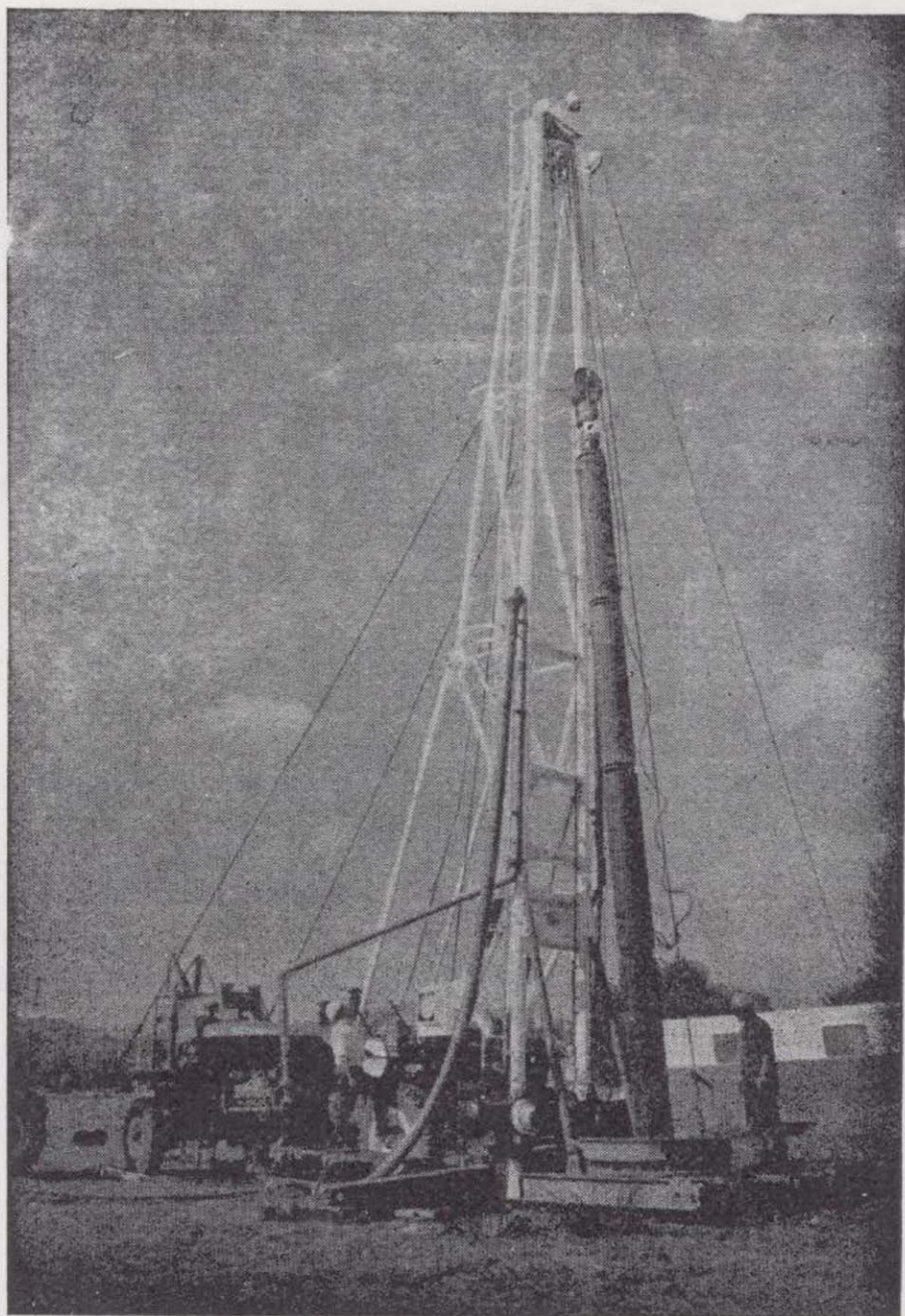
### **SONDEOS DE RECONOCIMIENTO**

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

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

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





## **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**

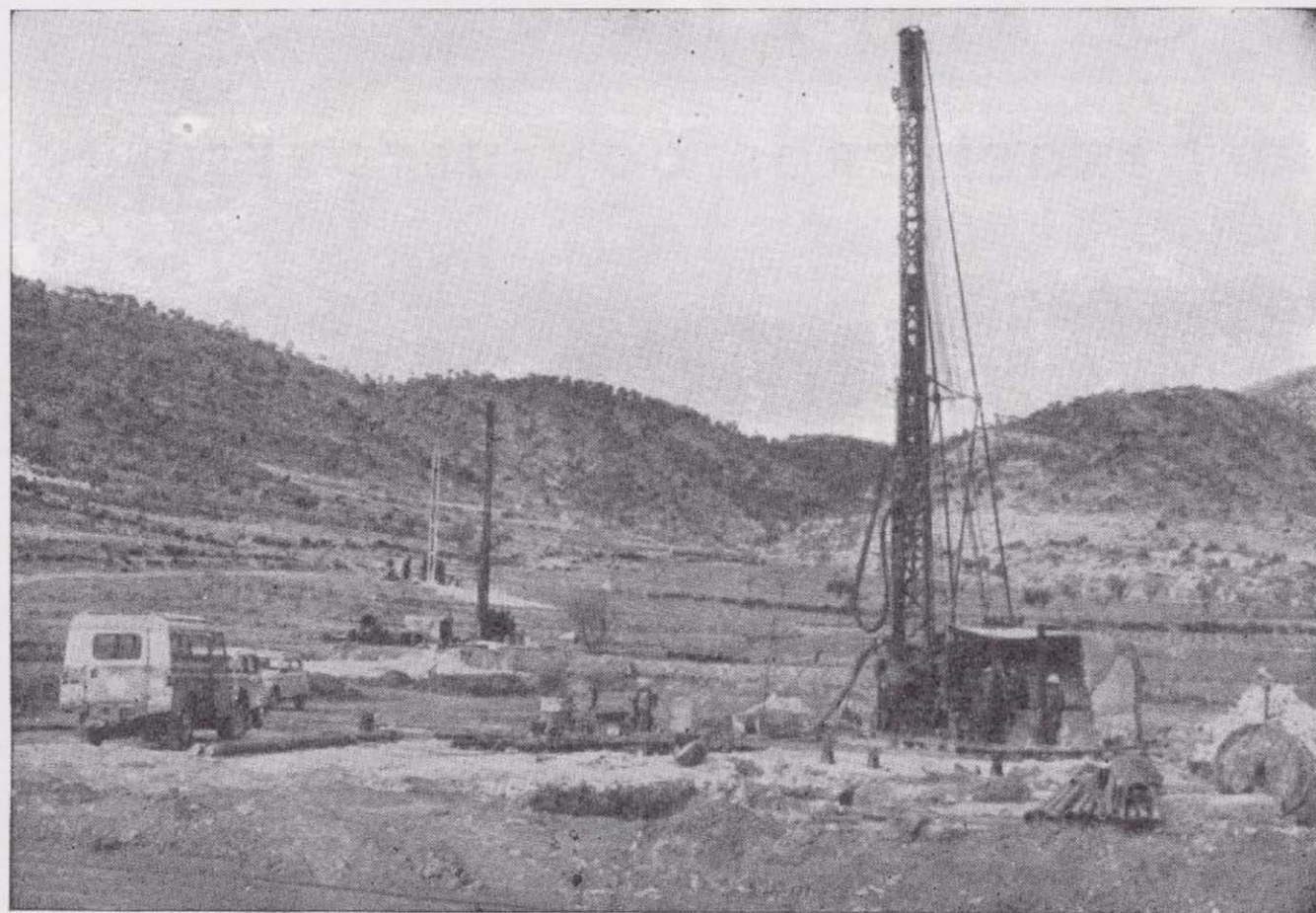
Sondas LONGYEAR y CRAELIUS con equipos de perforación «Wire-Line System».

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.



# **S O N D E O S   R O D E S**



**SONDEOS PARA**

**CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS, INVESTIGACIONES GEOLOGICAS Y ELIMINACION DE AGUAS RESIDUALES.**

**ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS.**

**ACIDIFICACIONES Y CIMENTACIONES DE SONDEOS.**

**EQUIPOS DE PERFORACION A PERCUSION Y ROTACION PARA PROFUNDIDADES HASTA 1.400 METROS.**

★ ★ ★

**Consúltenos para cualquier problema de agua que tenga en su finca o industria**

★ ★ ★

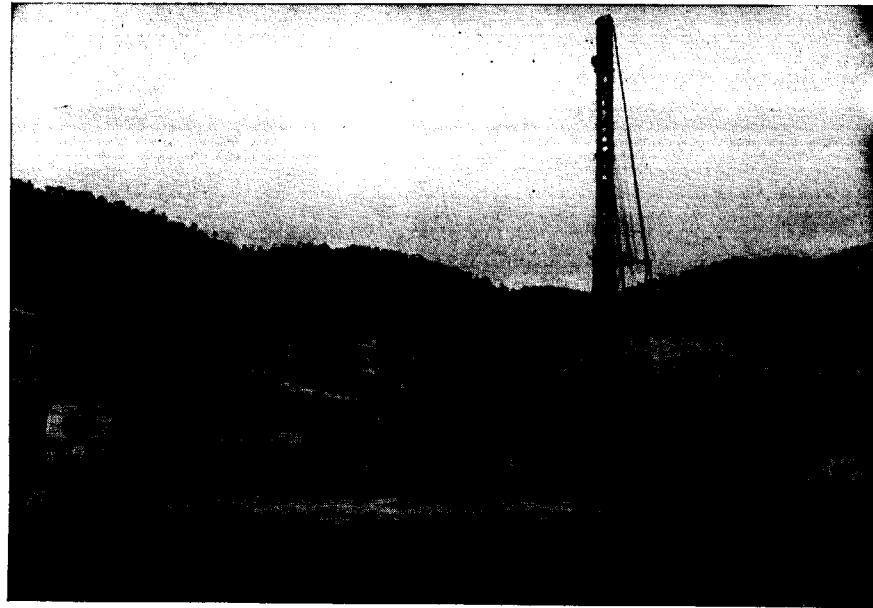
**E R N E S T O   R O D E S   M A R T I**

**Avda. José Antonio, 21 - Apartado 180 - Teléfono 359**

**VILLENA (Alicante)**



# RODES-SONDEOS, S. L.



## SONDEOS PARA

CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS, INVESTIGACIONES GEOLOGICAS Y ELIMINACION DE AGUAS RESIDUALES.

ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS.

ACIDIFICACIONES Y CIMENTACIONES DE SONDEOS.

EQUIPOS DE PERFORACION A PERCUSION Y ROTACION PARA PROFUNDIDADES HASTA 1.400 METROS.

★ ★ ★

Consúltenos para cualquier problema de agua que tenga en su finca o industria

★ ★ ★

RODES - SONDEOS, S. L.

Avda. José Antonio, 21 - Apartado 180 - Teléfono 80 09 83

VILLENA (Alicante)

# GEOTEHIC, S. A.

INGENIEROS CONSULTORES

## ESTUDIOS DE:

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

---

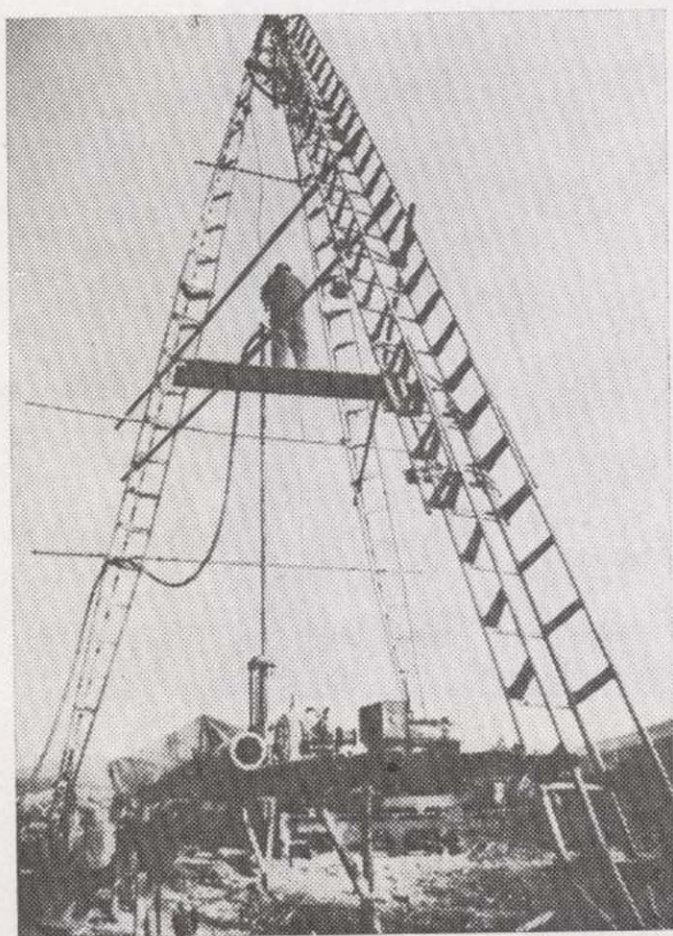
General Mola, 210, 1.º D — Teléfonos 2 50 18 03 - 45 — MADRID-2



# IBÉRICA DE SONDEOS, S. A.

Al servicio de la Perforación desde 1954

Le resuelve cualquier  
problema de perforación.



**MINERIA.**

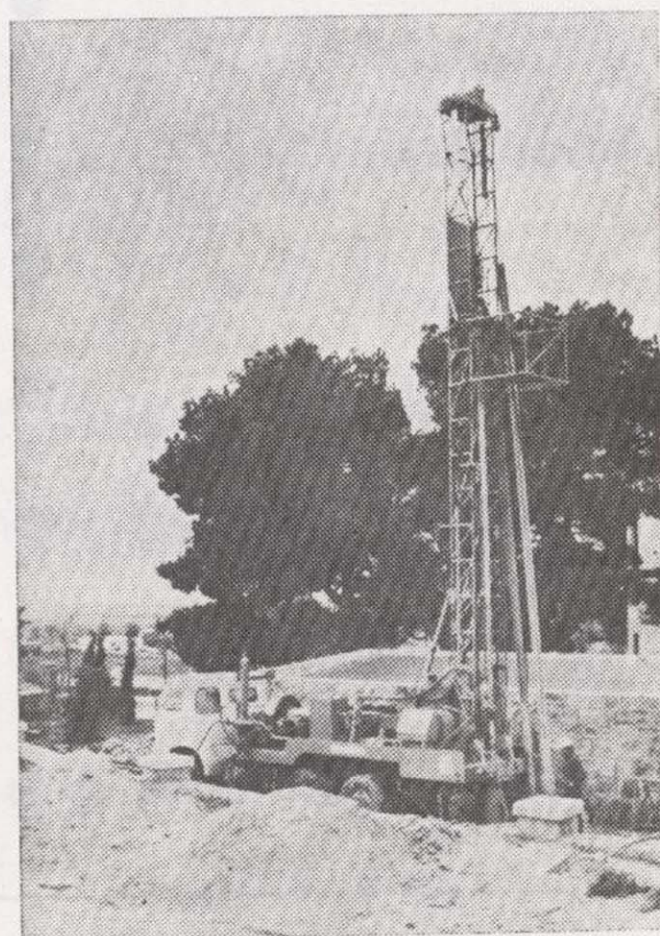
**ALUMBRAMIENTO DE AGUA.**

**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.



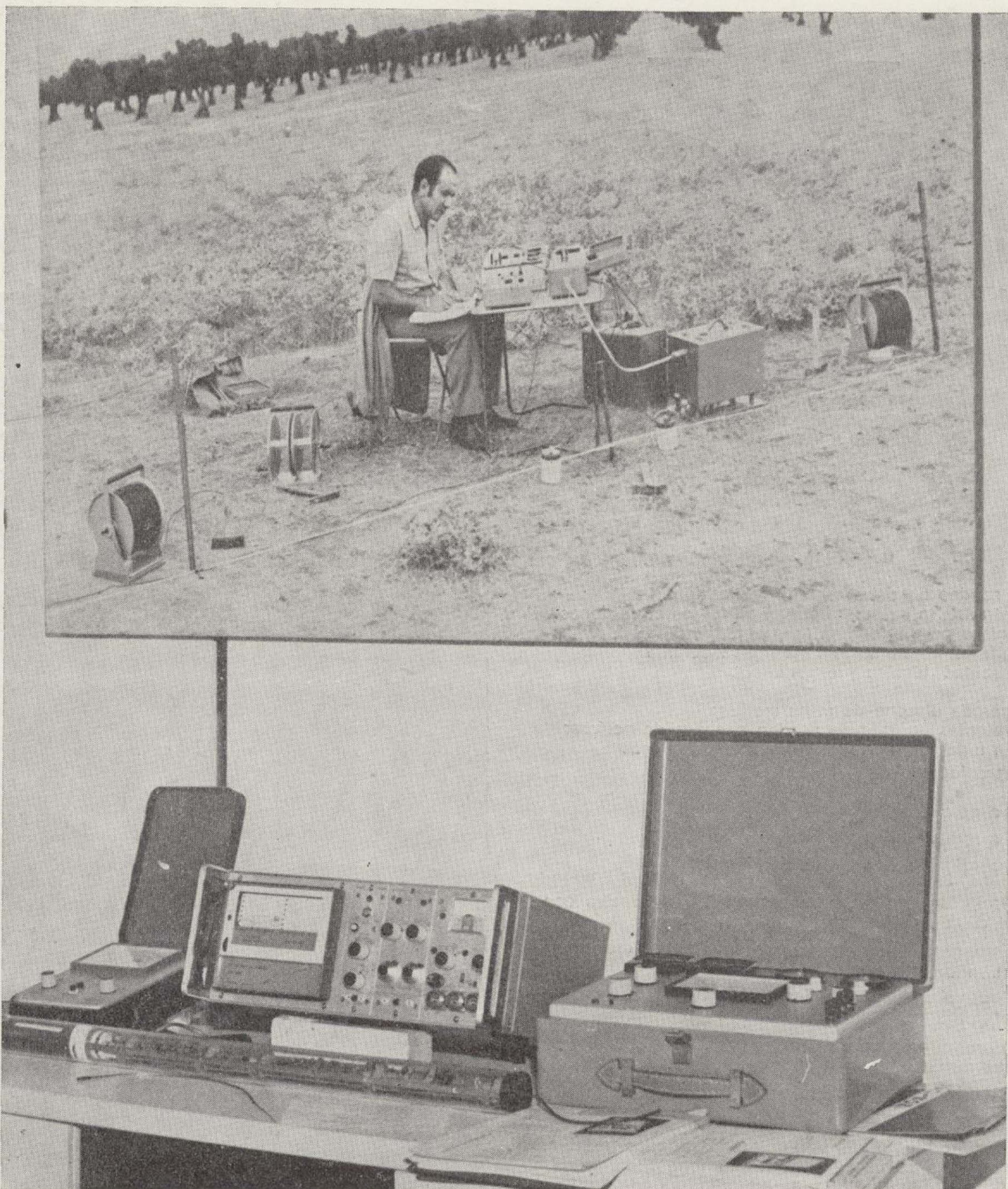
**LOPEZ DE HOYOS, 13, 1.º**  
**TELF. 261 08 07-MADRID-6**



# GEOTRON, S. A.

INSTRUMENTAL DE GEOFISICA

Virgen del Val, 28 - MADRID-27 - Teléfono 404 85 34



EQUIPOS PARA RESISTIVIDAD EN  
A.C. Y D.C.

POLARIZACION ESPONTANEA

POLARIZACION INDUCIDA

MEDIDORES DE CONDUCTIVIDAD

HIDRONIVELES ELECTRICOS

CONTROL AVANCE DE SONDEOS

TESTIFICADORES ELECTRICOS  
(potencial - resistividad y rayos gamma)

MAGNETOMETROS





**vea los resultados:  
MAS AGUA**

Podemos resolver de forma completa su problema de agua. Para ello contamos con modernos y potentes equipos de sondeo, con una avanzada técnica y con una acreditada y experta organización. Podemos ocuparnos desde la captación de caudales hasta la realización, si se nos pide, de los trabajos de conducción, distribución o puesta en riego o en depósito. Tenemos diversas modalidades de contratación. Nosotros estudiaremos la solución que más convenga a sus necesidades. Solicitenos información.

**Vegarada** Guzmán el Bueno, 133  
Tel. 233 71 00-253 42 00  
MADRID-3

DELEGACIONES REGIONALES Y EQUIPOS EN TODA ESPAÑA

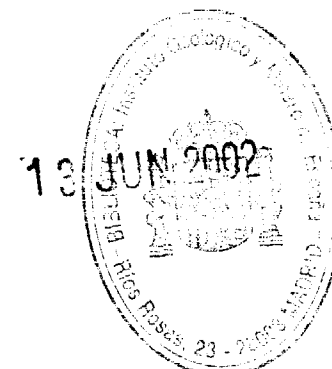
Pb-8

Tomo 89

Fascículo I

Enero - Febrero 1978

# Boletín Geológico y Minero



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

## SUMARIO

### Geología

- E. ELIZAGA, G. GUTIÉRREZ, A. LENDÍNEZ, F. ROBLES y M. TENA: Caracterización del Senoniense Continental-Paleógeno en la Hoja de Jalance (provincia de Valencia) ... 1
- J. MENDUÑA FERNÁNDEZ: Hipótesis sobre la tectónica global de la península Ibérica ... 15
- J. GARCÍA GARZÓN y M. BALBAS ANTÓN: Medida del tiempo geológico por el método Rubidio-Estroncio ... 22

### Minería

- P. GUMIEL MARTÍNEZ, E. MEDINA FERNÁNDEZ y J. A. SANTOS GARCÍA: Litoestratigrafía y control estructural de la mineralización antimonífera de la franja calcárea-devónica de Alburquerque (Badajoz) ... 39
- E. ARAGONÉS VALLS: Las mineralizaciones paleozoicas de hierro del sector central de la cordillera Ibérica (área de Moncayo). 53

### Aguas subterráneas

- J. GARRIDO BLASCO y R. FERNÁNDEZ-RUBIO: Algunos aspectos relativos a la calidad del agua en acuíferos subterráneos carbonatados ... 58

### Estudio de minerales y rocas

- A. PULGAR DÍAZ: El concepto de arcilla. La problemática de su definición y clasificación ... 63
- J. GARCÍA IGLESIAS: Estudio de inclusiones fluidas en los depósitos de fluorita de Berbes; Asturias, España ... 69

### Información

- Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXIII Campamento para Prácticas de Geología "Benasque 1977".—Noticias.—Legislación.—Notas bibliográficas ... 84

## DIRECCION Y REDACCION

Ríos Rosas, n.º 23 - Madrid-3

Teléfono 441 70 67

## ADMINISTRACION

Claudio Coello, n.º 44 - Madrid-1

Teléfono 276 20 01

**IGME**

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



SERVICIO DE PUBLICACIONES — MINISTERIO DE INDUSTRIA



**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**

Pliegues hercínicos posteriores a la fase principal de plegamiento. Devoniano  
inferior al Sur del macizo granítico de la Maladeta. Vallibierna. Pirineo Central.

Foto: L. M. RIOS y F. J. BELTRAN

Depósito legal: M. 3.279.-1958

---

*Nuevas Gráficas, S. A.-Andrés Mellado, 18.-Madrid (15).-III-1978.*



# Caracterización del Senoniense Continental-Paleógeno en la Hoja de Jalance (provincia de Valencia)

Por E. ELIZAGA (\*), G. GUTIERREZ (\*\*), A. LENDINEZ (\*\*\*), F. ROBLES (\*\*) y M. TENA (\*\*\*)

## RESUMEN

Se han caracterizado paleontológicamente, primera vez, el Senoniense superior y el Paleoceno, en facies continental, en la zona comprendida entre la Sierra de Martés y la Muela del Albéitar (provincia de Valencia) La correlación de los materiales de esta edad con los sincrónicos de Villalba de la Sierra y Puerto de Contreras (al O) y de Sierra Perenchiza y Sierra de Besorí (al E) permite realizar algunas precisiones de carácter paleogeográfico.

La existencia de faunas santonienses marinas asociadas a *Murciella cuvillieri*. FOURCADE, especie del Senonien- se Superior, obliga a replantear la validez de dataciones basadas en ciertas especies de microforaminíferos bentó- nicos del Santoniense.

Por último, se analiza la edad de la flora de Caráceas de la base del Cretácico terminal, que se sitúa en el Santoniense.

## RESUMÉ

On a caractérisé paleontologiquement, par la première fois le Senonien supérieur et le Paleocène, en faciès con- tinental, dans la zone située entre la sierra de Martés et la Muela de l'Albeitar (province de Valencia). La correla- tion entre les matériaux ainsdatés et ceux synchrones de Villalba, de à Sierra et Puerto de Contreras (à l'Ouest) et de Sierra Perenchiza et Sierra de Besori (à l'Est), permet de réaliser quelques precissions en rapport avec la pa- lèogéographie.

L'existence de faune santorien marine associée à *Murciella cuvillieri* FOURCADE, espèce du Senonien supérieur, oblige à poser à nouveau la validité des datations basées sur certaines espèces de microforaminifères benthos- niques du Santorien.

Finalement, on analyse l'âge de la flore de charophytes de la base du Crétacé terminal, et on la place dans le Santorien.

## I. INTRODUCCION

La presente nota, resultado de la colaboración entre I.G.M.E., INTECSA y Universidad de Valen- cia, ha surgido como consecuencia de los trabajos llevados a efecto para la elaboración de la Segunda Serie (Plan Magna) de las Hojas Geológicas nú- mero 744 (26-29), CASAS-IBÁÑEZ; 745 (27-29), JA-

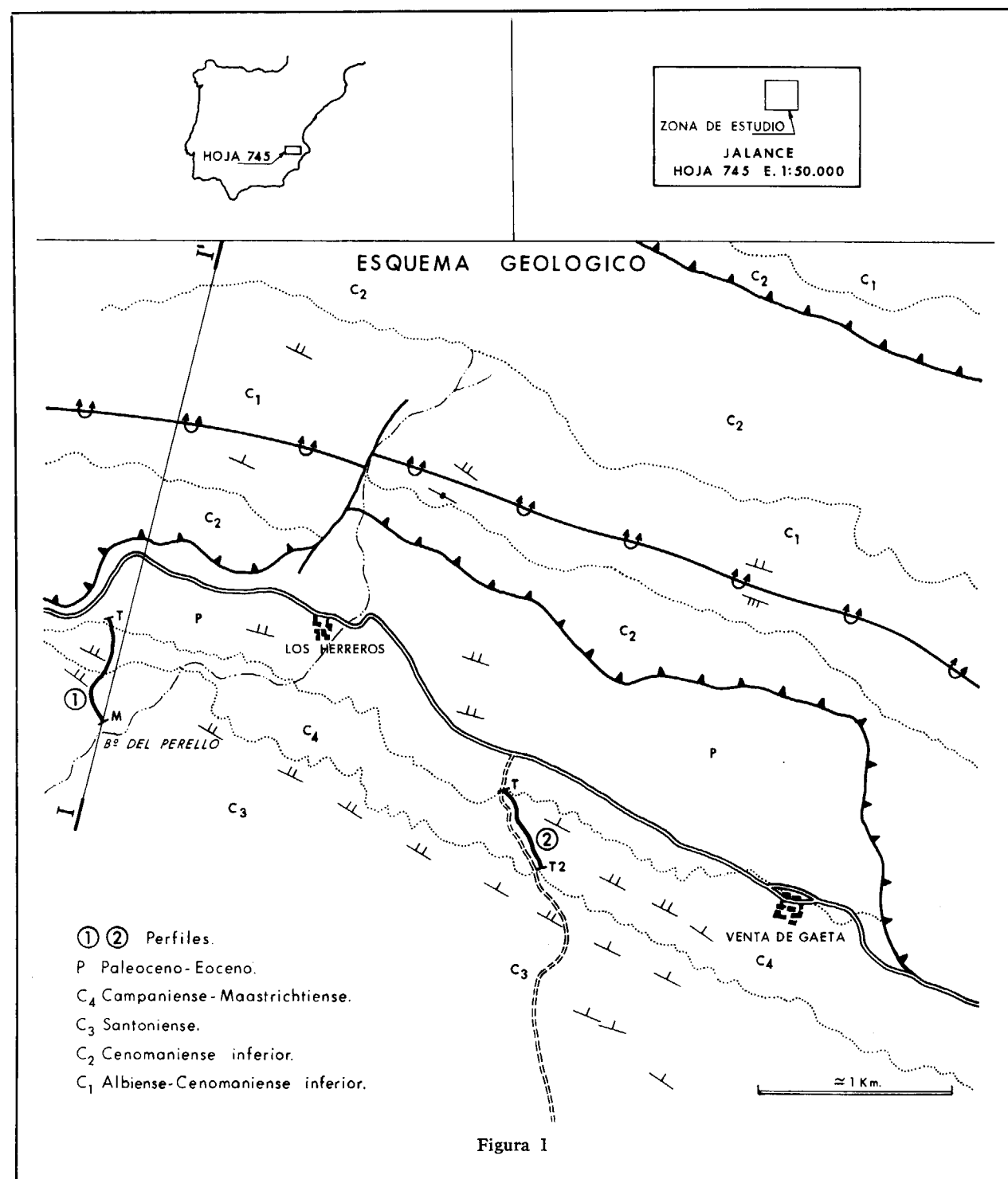
LACE y 767 (26-30), CARCELÉN, en los que han participado, entre otros, los firmantes. Su estudio ha permitido reunir una serie de datos que modi- fican, a veces sensiblemente, las ideas anteriores sobre la estratigrafía y estructura de los materiales del límite Cretácico-Terciario en una amplia zona de la Cordillera Ibérica Valenciana, a la vez que contribuyen a aclarar el problema de la paleogeogra- fía de la emersión finicretácica al proporcionar se- ries de carácter intermedio entre los materiales detrí- tico situados hacia el Oeste (región de los Cuchi- llos, cerca del Puerto de Contreras) y hacia el Este (Sierra Perenchiza y Sierra de Besorí). Una

(\*) Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Ro- sas, 23. Madrid.  
(\*\*) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Valencia.  
(\*\*\*) I. N. T. E. C. S. A. Condesa de Benedito, 1. Ma- drid.



cartografía detallada y una descripción general de los materiales citados figuran en la nueva Memoria y Hoja de JALANCE (en prensa). En el presente trabajo ampliamos una serie de datos que, por la

naturaleza y finalidad de la Hoja Geológica, no han sido reflejados en ella, pero que creemos que presenta gran interés a nivel regional.



La región estudiada abarca las Hojas mencionadas en las que se han datado, por primera vez, diversos afloramientos del Senoniense superior y Paleógeno en facies continental. La zona de mejor exposición de estos materiales corresponde a la depresión de Venta Gaeta, amplio valle que, con dirección Este-Oeste, separa la Sierra de Martés (al N.) y la Muela del Albéitar (al S.) Un esquema geológico simplificado, elaborado a partir de la fotografía aérea, ha sido representado en la figura 1. Como indicamos en los antecedentes, hasta ahora se había considerado que los niveles más altos del Cretácico en la región correspondían a las capas con *Lacazina elongata* del Santoniense, mientras que la formación detrítica que rellena el valle había sido atribuida sucesivamente al Tortonense-Sarmatiense, al Burdigaliense y al Terciario indiferenciado.

## II. ANTECEDENTES

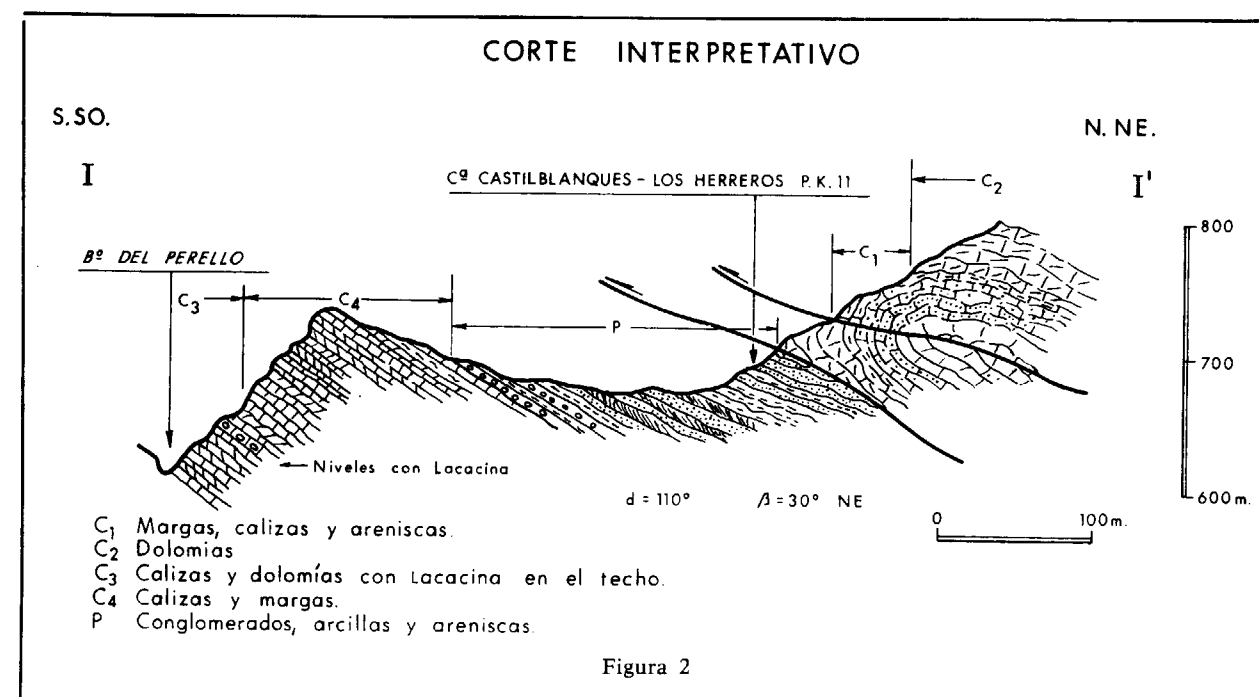
En varias publicaciones recientes (GUTIÉRREZ *et al.*, 1975 a, 1975 b; GUTIÉRREZ y ROBLES, 1976) se ha resumido la historia de las investigaciones recientes sobre el Cretácico terminal en facies continental de la Cordillera Ibérica meridional. Por ello nos limitaremos, en este apartado, a consignar los

datos recientes referidos exclusivamente a la zona geográfica estudiada en la presente nota.

El primer autor que estudia, con ideas modernas, la Sierra de Martés y la Muela del Albéitar es BRINKMANN (1931). Atribuye la serie detrítica al Mioceno superior (Tortonense-Sarmatiense) en facies continental y data los materiales situados a ambos lados de la depresión de Venta Gaeta como Neocomiense superior-Albiense inferior (Urgoaptenense).

DUPUY DE LÔME y MARÍN DE LA BÁRCENA (1960), en su descripción de la Hoja núm. 745 (Jalance) de la primera serie del Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 datan las calizas de la Muela del Albéitar como Santoniense, indicando la existencia de *Lacazina elongata*; atribuyen al Burdigaliense continental en facies litoral la facies detrítica que ocupa la depresión de Dos Aguas-Venta Gaeta y citan fauna de Ostreidos y Pectínidos. En las páginas 68 y 69 describen las estructuras de la Muela del Albéitar y Sierra de Martés.

Recientemente han aparecido dos nuevas notas sobre el Cretácico de la región que nos ocupa. En la primera de ellas, GARCÍA QUINTANA (1973) analiza el Cretácico inferior y figura un corte (pág. 31) realizado en las proximidades del de nuestra figura en el que señala la existencia de un Terciario que rellena, formando un sinclinal, la depresión de Venta





Gaeta. En la segunda, MÁS MAYORAL *et al.*, (1975) describen el Cretácico superior de la región y figuran una serie realizada en la Muela del Albéitar-Sierra de Martés de acuerdo con la cual el Cretácico culminaría en las capas con *Lacazina*.

Respecto a la interpretación estructural, Dupuy de Lôme y Marín de la Bárcena en los cortes geológicos II y III interpretan la serie cretácica como normal y cabalgante sobre los materiales terciarios supuestamente apoyados en Keuper.

MÁS MOYORAL *et al.*, (1975) en el corte que realizan, disponen los materiales terciarios, en discordancia sobre el Cretácico, formando un sinclinal. En nuestra opinión, apoyados en las dataciones y cartografía realizada, la estructura debiera interpretarse como se presenta en la figura 2. En ella se ha situado la serie Paleógena en discordancia erosiva sobre el Cretácico superior. Cabalgando sobre esta serie se encuentra el Cretácico de Sierra Martés que constituye un anticlinal tumbado de dirección 110° y 30° de buzamiento con charnela rota y con los flancos ligeramente desplazados.

### III. DESCRIPCION DE LOS PERFILES

Se han realizado dos perfiles de detalle cuya situación se señala en la figura 1. Debido a que los materiales detríticos que ocupan el fondo de la depresión se encuentran en gran parte cubiertos por derrubios y cultivados, sólo hemos muestreado con detalle los niveles calcáreos y margosos inferiores, que ofrecen buenos cortes. Aunque nuestro interés se ha centrado en las capas continentales y mixtas del Senoniense Superior hemos iniciado el primer perfil en las capas con *Lacazina elongata* Munier-Chalmas ya que se trata de único nivel guía que permite correlaciones a nivel regional.

PERFIL I. Barranco del Perelló-Alto de los Perillos.

Coordenadas:

Muro: 0°58'10" W. y 39°19'25" N.

Techo: 0°58'40" W. y 39°18'90" N.

Base:

Dolomías compactas, masivas, pardo-grisáceas.

1. 3 m de calizas grises en bancos de 0,80 a 1,20 m, duras, compactas, formando resalte. Presentan numerosos restos de Rudistas indeterminables.

A 2 m de la base la M-181 (biomicrita) contiene:

*Nummofallotia cretacea* SCHLUMB.

*Pseudolituonella* sp.

?*Minuxia* sp.

*Miliolidae*.

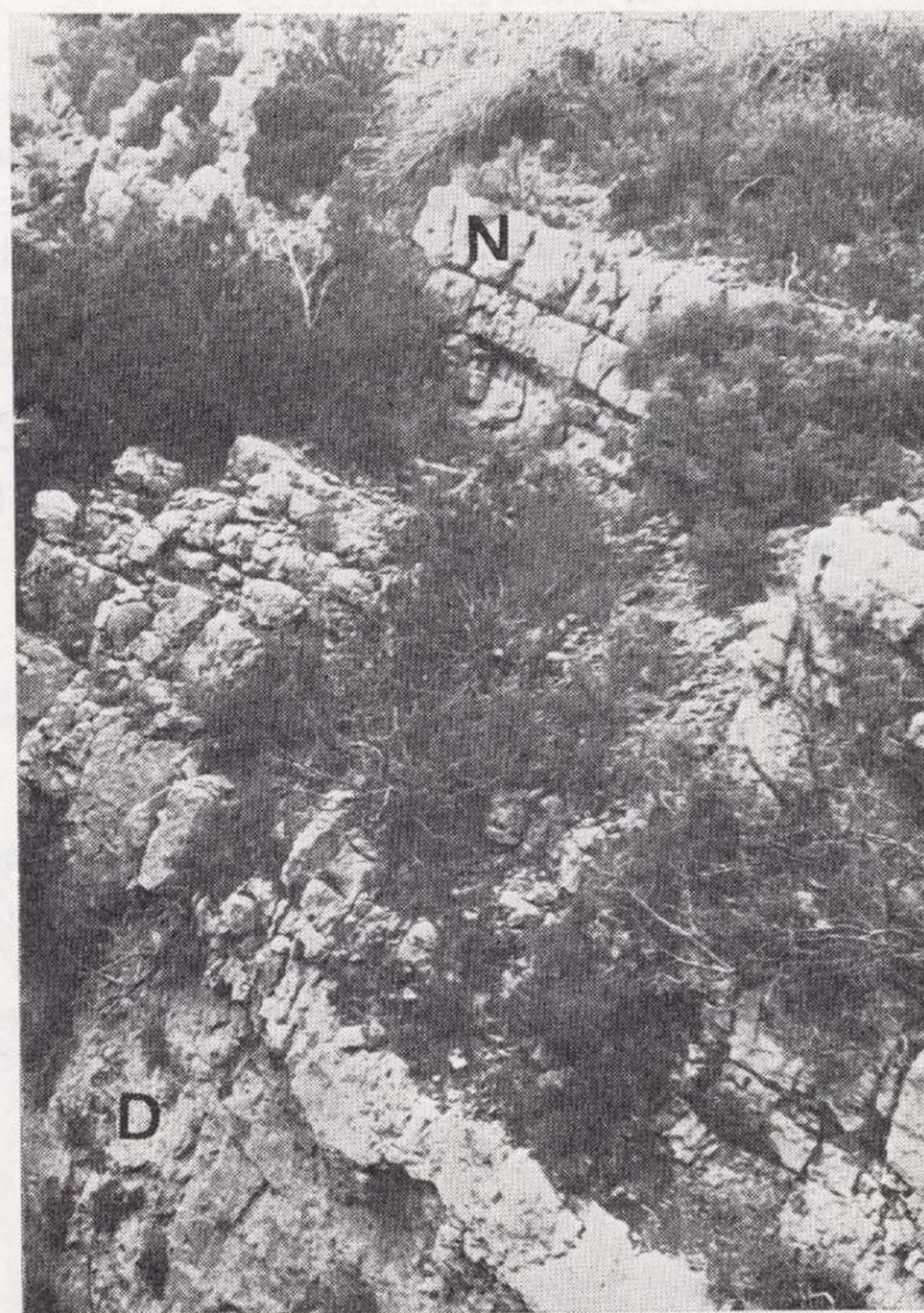
A 2,5 m de la base la M-182 (micrita con fósiles e intraclastos) contiene:

*Nummofallotia cretacea* SCHLUMB (frecuente).

*Spirocyclus choffati* MUNIER-CHALMAS (muy rara).

*Brizalina* sp (frecuente).

*Spiroplectammia* sp. (rara).



Fotografía 1

Niveles inferiores del perfil I: D, Dolomías basales.  
N, Niveles con *Lacazina*.



*Idalina* sp. (rara).

Otros *Miliolidae* (abundantes).

En el techo la M-183 (micrita con fósiles e intra-clastos) contiene:

*Lacazina* cf. *elongata*. MUNIER-CHALMAS (ejemplares deformados).

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Spiroplectammia*. sp.

*Quinqueloculina*. sp.

?*Idalina*. sp.

*Cibicides*. sp.

*Triloculina*. sp.

*Brizalina*. sp.

*Miliolidae*.

*Ostracoda*.

2. 3 m de dolomías y calizas gravelosas laminadas, de color gris, en bancos de 0,10 a 0,20 m, formando un entrante.

Hacia la mitad del tramo la M-184 (bioesparita) contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Vidalina hispanica*. SCHLUMB.

*Idalina antiqua*. MUNIER-CHALMAS.

*Dicyclina schlumbergeri*. MUNIER-CHALMAS.

*Cuneolina pavonia*. D'ORBIGNY.

*Montsechiana* cf. *martiguae*. ARNAUD, COUSTAU et GENDROT.

*Quinqueloculina*. sp. (muy abundante).

*Spiroplectammia*. sp.

*Triloculina*. sp.

*Miliolidae*.

Esquirlas de Moluscos.

3. 3,5 m de calizas similares a las del nivel 1, con restos de Rudistas, que forman un paquete que resalta en la topografía.

En la base del tramo la M-185 (micrita con fósiles y "peloids") contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

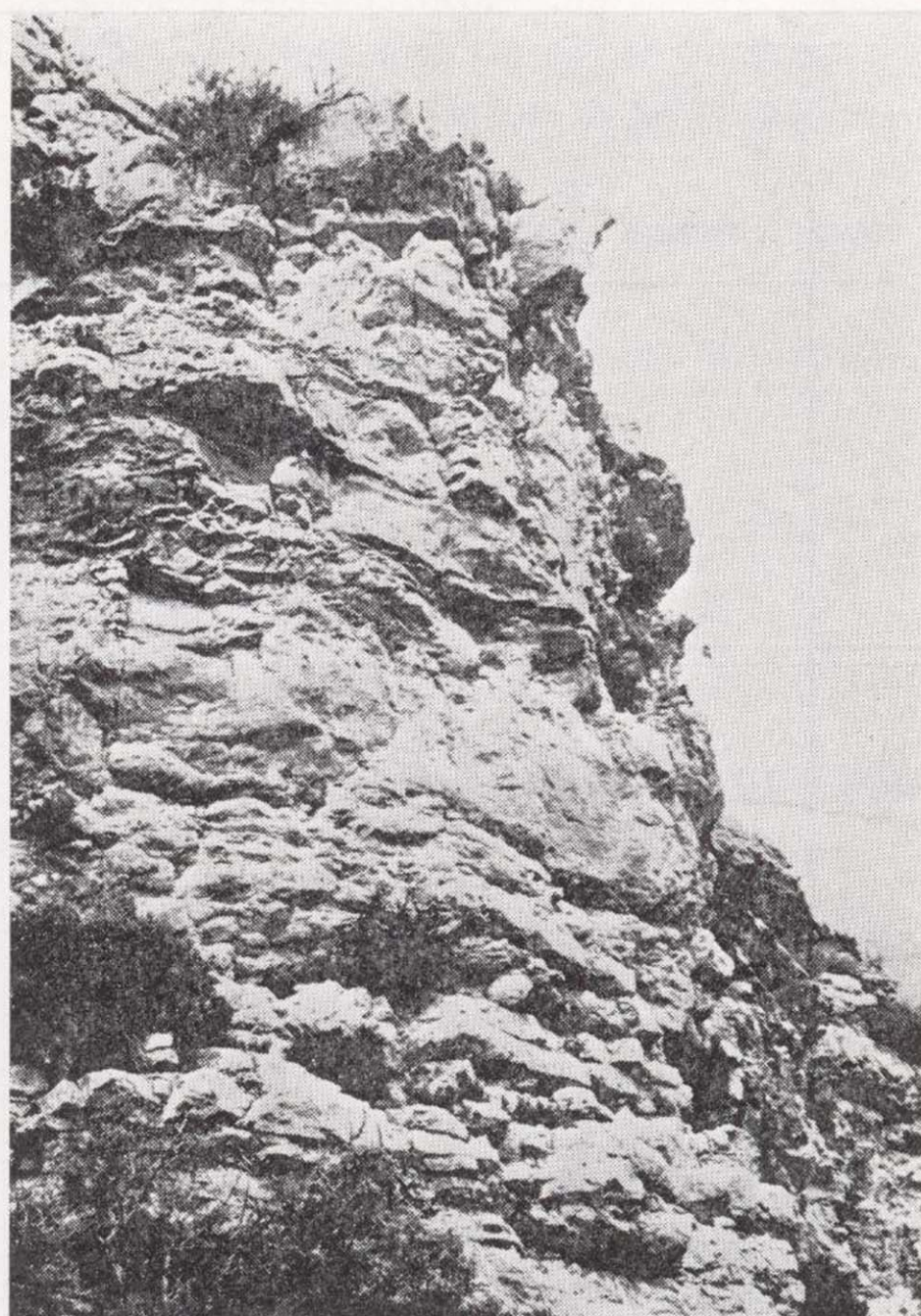
*Idalina antiqua*. MUNIER-CHALMAS.

*Spiroplectammia*. sp.

*Triloculina*. sp.

?*Montsechiana*. sp.

*Quinqueloculina*. sp.



Fotografía 2

Niveles superiores del Perfil I: Calizas y dolomías del nivel 7.

Hacia la mitad del tramo la M-186 (micrita con fósiles) contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Cuneolina pavonia*. D'ORBIGNY.

*Minouxia lobata*. GENDROT.

*Spiroplectammia*. sp.

?*Pseudocyclammia*. sp.

4. 1,5 m de calizas dolomíticas y dolomías que forman entrante.

5. 3 m de calizas recristalizadas grises, alternando con dolomías del mismo color, en niveles discontinuos que pasan lateralmente a calizas dolomíticas.

A 1 m de la base, M-187 (microesparita), azoica.



## PERFIL - I

PERFIL - I																											
TRAMO	COLUMNA	Nº MUESTRA	MICROFACIES	MICROFLORA										MICROFAUNA										EDAD			
				Bismochara conquensis	Microchara tunicata	Platychara caudata	Platychara complanata	Platychara spiculata	Platychara turbinata	Retusochara macrocarpa	Dughiella obtusa	Strobilochara compta	Strobilochara diademata	Strobilochara truncata	Strobilochara viallardi	Nummofallotia cretacea	Spirocyclina choffati	Dicyclina schlumbergeri	Lacazina cf. elongata	Vidalina hispanica	Idalina antiqua	Cuneolina pavonia	Montsechiana cf. martignae	Minouxia lobata	Minouxia conica	Pseudocyclammina cf. massiliensis	
8		• 194	Margas	•	•		•		•	•	•	•		•													
		• 193	Intrabiomicrita																								
		• 192	Margas			•	•	•		•			•		•												
		• 191	Intrabiomicrita													•						•				•	
7		• 190	Biomicrita													•					•				•		
		• 189	Micrita con fósiles y "peloids"													•					•			•			
6		• 188	Micrita con fósiles																								
5		• 187	Microesparita																								
4																											
3		• 186	Micrita con fósiles													•						•		•			
		• 185	Micrita con fósiles y "peloids"													•					•						
2		• 184	Bioesparita													•	•		•	•	•	•	•				
		• 183	Micrita con fósiles e intraclastos													•	•	•	•								
1		• 182														•											
		• 181	Biomicrita													•											
																						</					

6. 4 m de dolomías grises en lechos finos (0,20-0,30 m) con intercalaciones de margas dolomíticas de color morado o cárneo, con cuarzo detrítico.

A 2 m de la base la M-188 (dolomicrita con fósiles) presenta fantasmas de Ostrácodos y Gasterópodos.

7. 8 m de calizas y calizas dolomíticas de color grisáceo en superficie y rojo cárneo en fresco, con estratificación discontinua y ondulante, formando un fuerte resalte.

A 0,50 m de la base la M-189 (micrita con fósiles y "peloids") contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Minouxia conica*. GENDROT.

*Idalina antigua*. MUNIER-CHALMAS.

*Valvulina*. sp.

*Ostracoda*.

A 4 m de la base la M-190 (biomicrita) contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Minouxia conica*. GENDROT.

*Idalina antigua*. MUNIER-CHALMAS.

*Idalina*. sp.

*Spiroplectammina*. sp.

*Valvulina*. sp.

*Rotalidae*.

*Ostracoda*.

*Acicularia*. sp.

Hacia el techo del tramo la M-191 (intrabiomicrita) contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Pseudocyclammina* cf. *massiliensis*. MAYNC.

*Cuneolina pavonia*. D'ORBIGNY.

*Marssonella*. sp.

*Minouxia*. sp.

*Quinqueloculina*. sp.

*Spiroplectamina*. sp.

*Ostracoda*.

8. 12 m de una alternancia de calizas grises (en bancos de 0,20 a 0,40 m) y margas claras (0,60-1 m).

A 1 m de la base la M-192 (margas) contiene:

*Strobilochara diademata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Strobilochara viallardi*. GRAMBAST.

*Dughiella obtusa*. GRAMB. et. GUTIÉRREZ.

*Platychara caudata*. GRAMB.

*Platychara complanata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Platychara spiculata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Ostracoda*.

*Miliolidae*.

Gasterópodos.

A 1,5 m de la muestra anterior la M-193 (intra-biomicrita), contiene:

*Spiroplectammina*. sp.

*Gavelinella*. sp.

?*Minouxia*. sp.

*Ostracoda*.

Caráceas.

A 1,5 m de la muestra anterior la M-194 (margas), contiene:

*Strobilochara compta*. GRAMB.

*Strobilochara truncata*. GRAMB.

*Retusochara macrocarpa*. GRAMB.

*Dughiella obtusa*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Microchara tunicata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Platychara complanata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Platychara turbinata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Bismochara conquensis*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Ostracoda*.

Gasterópodos.

La parte superior de este tramo aparece cubierta por derrubios procedentes de los materiales que se le superponen, erosionándolo.

PERFIL II. Camino a la izquierda de la carretera Venta Gaeta-Los Herreros.

Coordenadas:

Muro: 1°00'00" W. y 39°19'10" N.

Techo: 0°59'54" W. y 39°19'30" N.

El camino, que parte de la carretera citada, unos 1.500 m al N de Centa Gaeta, corta una interesante serie del Senoniense superior, con un desarrollo de los niveles margosos muy superior al del Perfil I. Debido a que las calizas y margas han sufrido un suave ondulado y a que la ladera sigue el buzamiento de las capas, la serie expuesta es bastante restringida y no se alcanzan los niveles con *Laca-*



zina. Por ello hemos iniciado el perfil en los niveles equivalentes a la parte alta del tramo 6 del perfil anterior.

**Base:** Alternancia de margas dolomíticas rojizas y calizas dolomíticas grises y cárneas.

1. 12-15 m de calizas, calizas dolomíticas y dolomías grisáceas en superficie y pardas, grisáceas o rojizas en fresco, en bancos de 0,40 a 1 m. Las intercalaciones dolomíticas son más frecuentes hacia la base. Existen algunas intercalaciones de margas claras muy calcáreas.

En la base del tramo, M-195 (microesparita), azoica.

A 1,5 m de la muestra anterior la M-196 (micrita con fósiles y "peloids") contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

?*Minouxia lobata*. GENDROT.

*Minouxia*. sp.

*Spiroplectamina*. sp.

*Miliolidae*.

Ostracoda.

A 2 m de la muestra anterior la M-197 (bioesparita) contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

?*Minouxia lobata*. GENDROT.

*Quinqueloculina*. sp.

*Spiroplectamina*. sp.

*Miliolidae*.

A 1,5 m de la muestra anterior la M-198 (micrita con fósiles e intraclastos tipo "cailloux noirs") contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Quinqueloculina*. sp.

*Gavelinella*. sp.

*Spiroplectamina*. sp.

?*Minouxia*. sp.

A 1,5 m de la muestra anterior la M-199 (bioesparita) contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Quinqueloculina*. sp.

*Minouxia*. sp.

Ostracoda.

A 2 m de la muestra anterior la M-200 (micrita con fósiles y "peloids") contiene:

*Gavelinella*. sp.

*Quinqueloculina*. sp.

?*Minouxia*. sp.

*Miliolidae*.

Ostracoda.

A techo, la M-201 (micrita con fósiles) contiene:

*Dicyclina schlumbergeri*. MUNIER-CHALMAS.

*Nummofallotia*. sp.

*Minouxia*. sp.

*Quinqueloculina*. sp.

*Cuneolina pavonia*. D'ORBIGNY.

*Spiroplectamina*. sp.

?*Eggerella*. sp.

*Miliolidae*.

*Pseudocyclammina*. sp.

Ostracoda.

2. 5 m de margas grises con intercalaciones calcáreas del mismo color.

A 1 m de la base, la M-202 (margas) contiene:

*Strobilochara*. sp.

*Dughiella obtusa*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

Ostracoda.

A 1 m de la muestra anterior la M-203 (margas) contiene:

*Dughiella obtusa*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Platychara caudata*. GRAMB.

*Platychara turbinata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Strobilochara viallardi*. GRAMB.

*Strobilochara*. sp.

Ostracoda.

*Discorbis*.

*Miliolidae*.

Gasterópodos (fragmentos).

A 1 m de la muestra anterior la M-204 (margas) contiene:

*Strobilochara*. sp.

*Dughiella obtusa*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Retusochara macrocarpa*. GRAMB.

*Platychara caudata*. GRAMB.

*Platichara complanata*. GRAMB. et. GUTIÉRREZ.

*Platychara turbinata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

Ostracoda.

Fragmentos de Gasterópodos.

A 1 m de la muestra anterior la M-205 (margas) contiene:

*Bysmochara obtusa*.

*Platichara complanata*. GRAMB. et. GUTIÉRREZ.

*Platychara turbinata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Dughiella obtusa*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Strobilochara diademata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Strobilochara viallardi*. GRAMB.

Ostracoda.

*Miliolidae*.

"*Discorbis*".

Fragmentos de Gasterópodos.

Fragmentos de huevos de Dinosaurios.

3. 4 m de calizas grises en bancos de 0,10 a 0,40 m con una intercalación de 1 m de margas claras hacia el centro.

En la base, la M-206 (micrita con fósiles) contiene:

*Minouxia lobata*. GENDROT.

*Spiroplectamina*. sp.

*Nummofallotia*. sp.

*Gavelinella*. sp.

?*Pseudolituonella*. sp.

Ostracoda.

En el tramo intermedio, la M-207 (margas) contiene:

*Platychara turbinata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Microchara*. sp.

*Peckichara*. sp.

Fragmentos de Gasterópodos.

Fragmentos de huevos de Dinosaurios.

A 3 m de la base del tramo la M-208 (micritas con fósiles e intraclastos) contiene:

*Gavelinella*. sp.

*Miliolidae*.

Ostracoda.

Caráceas.

En el techo del tramo, la M-209 (biomicrita) contiene:

*Nummofallotia cretacea*. SCHLUMB.

*Cuneolina pavonia*. D'ORBIGNY.

*Minouxia* aff. *lobata*. GENDROT.

*Murciella curvillieri*. FOURCADE.

*Pseudolituonella*. sp.

*Spiroplectamina*. sp.

*Gavelinella*. sp.

*Marssonella*. sp.

*Pseudocyclammina*. sp.

Ostracoda.

Caráceas.

4. 5 m de margas gris-claras, con niveles de calizas grises de 0,20-0,50 m.

En la base la M-210 (margas) contiene:

*Porochara oblonga*. GRAMB.

*Platychara cristata*. GRAMB.

*Platychara stipitata*. GRAMB. et GUTIÉRREZ.

*Microchara*. sp.

Ostracoda.

Fragmentos de Gasterópodos.

A 2 m la M-210 (margas) contiene:

*Porochara oblonga*. GRAMB.

*Platychara cristata*. GRAMB.

*Maedleriella*. sp.

*Microchara*. sp.

En el techo la M-211 (micrita con fósiles) contiene:

*Minouxia*. sp.

Ostracoda.

Caráceas.

Por encima de este nivel aparece, erosionándolo, una formación detrítica constituida por margas rojas y violáceas con intercalaciones de areniscas silíceas amarillentas y blancas con algunas pasadas de conglomerados de cantos de cuarcita. Los niveles de areniscas, de desarrollo muy desigual, presentan estratificación cruzada. La unidad posee un espesor próximo a los 250 m y ocupa el fondo de la depresión de Venta Gaeta. Como hemos indicado anteriormente, el gran desarrollo de cultivos y derrubios impide una subdivisión en tramos precisos.







Las relaciones entre esta unidad y la anterior son difíciles de establecer ya que el contacto aparece siempre oculto. De todas formas puede observarse que no existen diferencias de buzamiento apreciables entre los últimos niveles calco-margosos y los primeros detríticos. No obstante, las variaciones de

espesor de las calizas y margas superiores entre el Perfil I y el Perfil II, pese a la escasa distancia, hacen suponer la existencia de una etapa erosiva de cierta importancia simultánea a la deposición de los materiales basales.

Aunque hemos realizado varios levigados en los niveles margosos, las diferentes muestras han resultado estériles. No obstante, hemos podido localizar dos niveles con macrofauna, uno de ellos bastante significativo. A 110 m de la base del tramo, en un nivel de margas rojo-violáceas, aparecen gran cantidad de ejemplares de *Vidaliella gerundensis* (VIDAL).

En las proximidades del cabalgamiento que limita la serie por su parte superior (figs. 1 y 2) hemos recogido, en margas arenosas rojizas, diversos individuos atribuibles con dudas, dado el mal estado de conservación, a *Ischurostoma*. sp.

PERFIL III. Carretera de Dos Aguas a Macastre, kilómetro 11.

Sobre el Cretácico superior continental, constituido por calizas con finas intercalaciones de margas con Caráceas se observa en contacto mecánico, un nivel de unos 6 m de margas rojas, poco compactadas, cubiertas en su mayor parte por derrumbios. Han proporcionado:

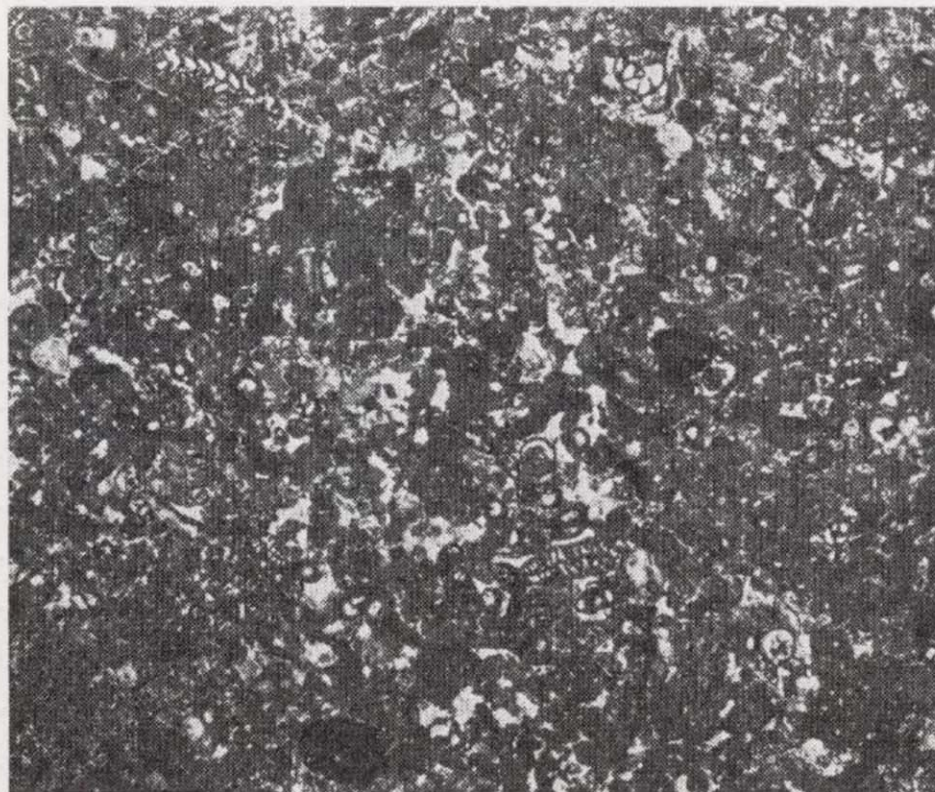
*Vidaliella gerundensis*. VIDAL (abundante).

?*Ischurostoma*. sp (un ejemplar sin las últimas vueltas).



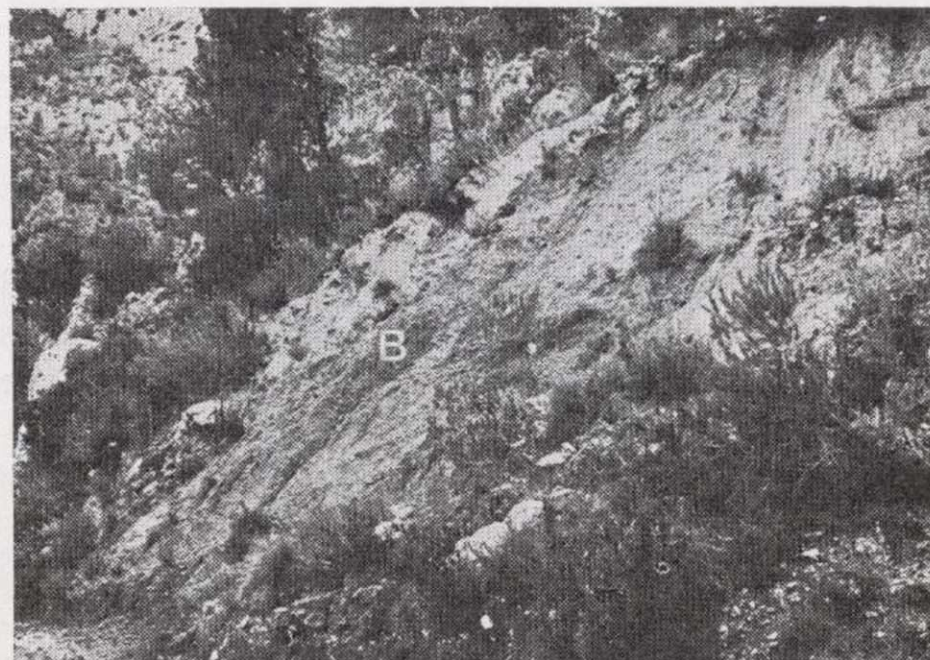
Microfacies A

Biomicrocristalinos (M-209) con secciones de *Nummofallotia cretacea* (SCHLUM), *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY y secciones de Charáceas (x 20).



Microfacies B

Biomicrocristalinos (M-209) con secciones de *Murciella cuvillieri* FOUCADE (x 20).



Fotografía 3

Aspecto de las margas rojas y violáceas del Perfil III: B, Niveles con "Bulimus". *Vidaliella gerundensis* (Vidal).



## IV. EDAD DE LOS MATERIALES DESCRITOS

La edad de la base de los materiales estudiados queda definida por la existencia de *Lacazina elongata*. MUNIER-CHALMAS, características del Santoniense superior, al que pueden atribuirse también los tramos 2 a 7 del perfil I y el tramo 1 del perfil II, de acuerdo con lo distribuido en el tiempo atribuida hasta ahora a las especies de foraminíferos determinadas en las muestras recogidas en dichos tramos.

El principal problema estratigráfico que se presenta es la coexistencia, en una de las muestras (M-209), de *Murciella cuvillieri*. FOURCADE datada hasta ahora como del Senoniense superior (Campaniense-Maastrichtiense) (FOURCADE, 1966, 1970; HAMAOUY y FOURCADE, 1973) con *Cuneolina pavonia*. D'ORBIGNY y *Minouxia* aff. *lobata*. GENDROT que caracterizan el Senoniense inferior (Santonienense). NEUMANN, 1967; RAMÍREZ DEL POZO, 1971). aunque la primera aparece bastante antes. La posición de *Murciella cuvillieri* en la Muela del Albéitar es similar a la que ocupa en los yacimientos del SE de España, descritos por FOURCADE (cf. *supra*): unos 20 m por encima del nivel con *Lacazina elongata*, si bien no existen *Orbitoides* ni *Siderolites* que podrían concretar la edad exacta. La coexistencia de las tres especies citadas puede indicar (una vez descartada, tras el estudio de las muestras, la posibilidad de una resedimentación) las capas de tránsito Santoniense-Campaniense o un Campaniense más o menos inferior. En este último caso, que nos parece el más probable, habría que asignar a *Cuneolina pavonia* y a *Minouxia lobata* una dispersión ligeramente superior a la supuesta hasta ahora. De todas formas debemos insistir en la dificultad de utilizar estas faunas bentónicas como indicadores cronológicos seguros [véase GUTIÉRREZ *et al.*, 1975 b: 569, nota 3 (1).]

Los niveles superiores (tramos 8 del perfil I y 2-3 del perfil II), en facies continental con episodios marinos intercalados, son equivalentes a los que

(1) En un trabajo reciente (GUTIÉRREZ y ROBLES, 1976) señalamos la dificultad de datar la base de la florizna inferior, de las dos que hemos definido para el Senoniense Superior de la Cordillera Ibérica Meridional, que podría corresponder al Santoniense final, tránsito Santoniense-Campaniense o Campaniense basal. Posteriores observaciones, aún inéditas, de uno de nosotros (G. Gutiérrez), permiten precisar que en los alrededores de Mota del Cuervo (Cuenca) aparecen varias especies de Caráceas características de dicha florizna intercaladas con las capas de *Lacazina elongata* del Santoniense.

presentan la florizna inferior en Villalba de la Sierra (GUTIÉRREZ y ROBLES, 1976). Debido a su situación por debajo de la M-209, que posee la asociación discutida más arriba, pueden ser atribuidos, con bastante probabilidad, al Campaniense. El tramo 4 del perfil II corresponde a la base de la florizna superior de Villalba y puede poseer edad Campaniense y/o Maastrichtiense.

El único criterio que poseemos para datar los materiales detríticos rojizos de la parte superior del perfil II y del perfil III es la existencia de *Vidaliella gerundensis* (VIDAL), ya que el género *Ischurostoma* presenta una distribución muy amplia (?Cretácico superior, Paleoceno-Oligoceno según WENZ, 1938-1944). De acuerdo con la revisión de PLAZIAT (1973) a partir de datos obtenidos en Cataluña oriental, Valle del Ebro y Asturias, la especie citada aparece como muy tarde en el Tanetiense y desaparece, como máximo, en el Ilerdiense medio. Su posición en zonas próximas a Albéitar (Puerto de Contreras) no permite precisiones cronoestratigráficas, ya que no existen otros indicadores de edad asociados o próximos a ella. En resumen, podemos atribuir a las capas con *Vidaliella gerundensis* de la zona estudiada una edad Paleoceno superior, pero sin descartar la posibilidad de que alcance hasta la base del Eoceno. Los materiales detríticos situados entre los últimos niveles con charáceas y las margas rojas con *Vidaliella* poseen, por consiguiente, edad Cretácico terminal (Maastrichtiense)-Terciario basal (Paleoceno) sin que sea posible, al nivel de los datos actuales, situar el límite Mesozoico-Cenozoico con mayor precisión.

## V. CORRELACION

La correlación de las series estudiadas con otras próximas de la misma edad permite realizar algunas precisiones paleogeográficas. Por una parte evidencia la existencia de un importante umbral durante el Senoniense superior, tal como han indicado MELÉNDEZ *et al.*, (1975). Este umbral, completamente emergido en la región de los Cuchillos, separaría dos amplias zonas lacustres: una situada al W (Villalba de la Sierra) con sedimentación, fundamentalmente arcillosa y yesifera y otra situada al E. (Besori-Perenchiza, Albeitar, Costes de Pallas, etc. Con sedimentación predominante calcárea. Ambas áreas poseerían, no obstante, conexiones entre sí, como lo demuestra la identidad de la flora de Cará-

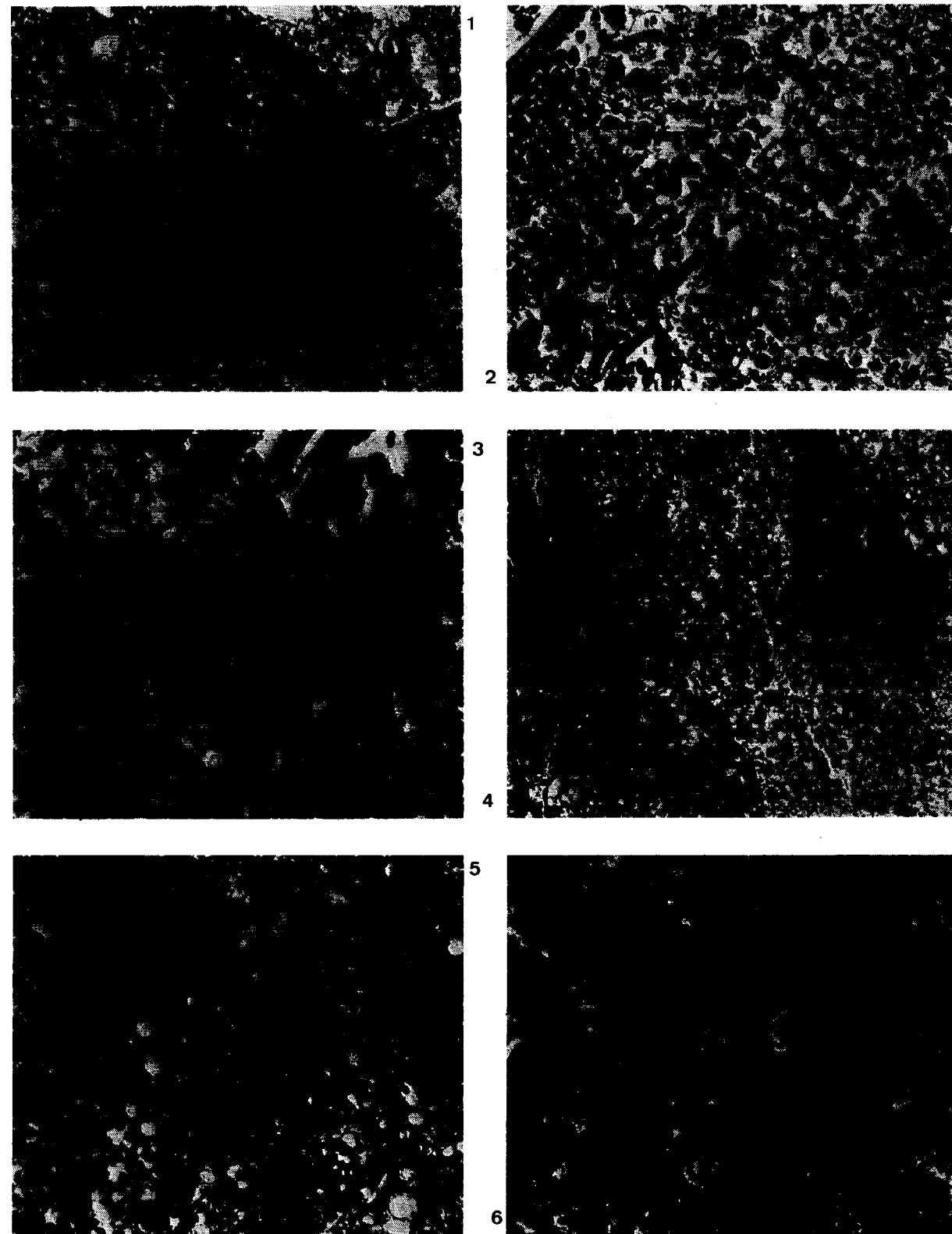
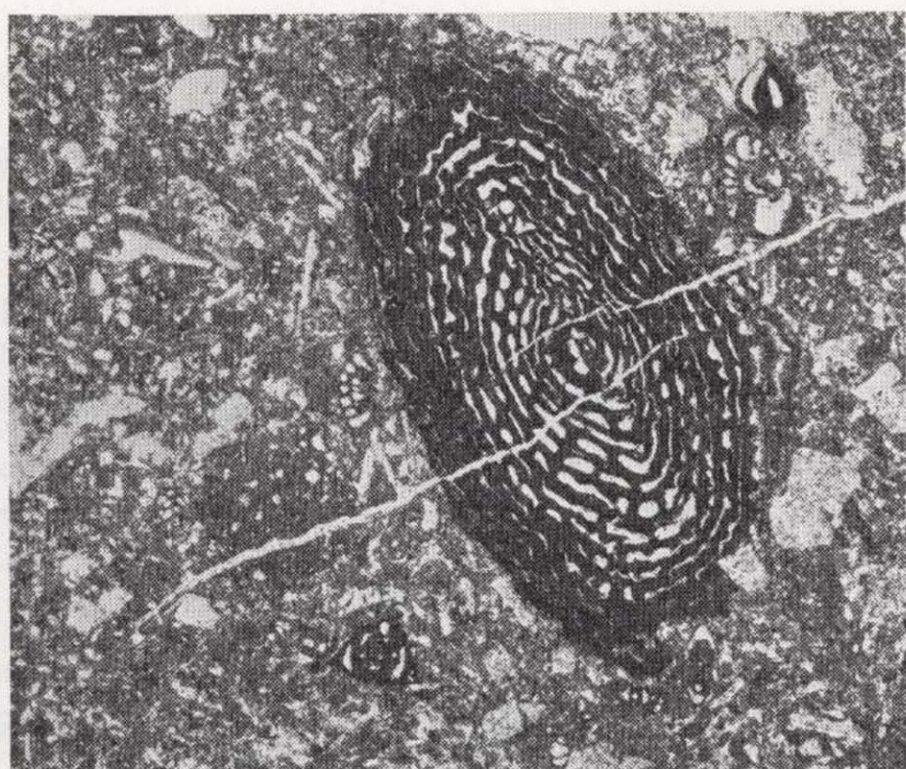
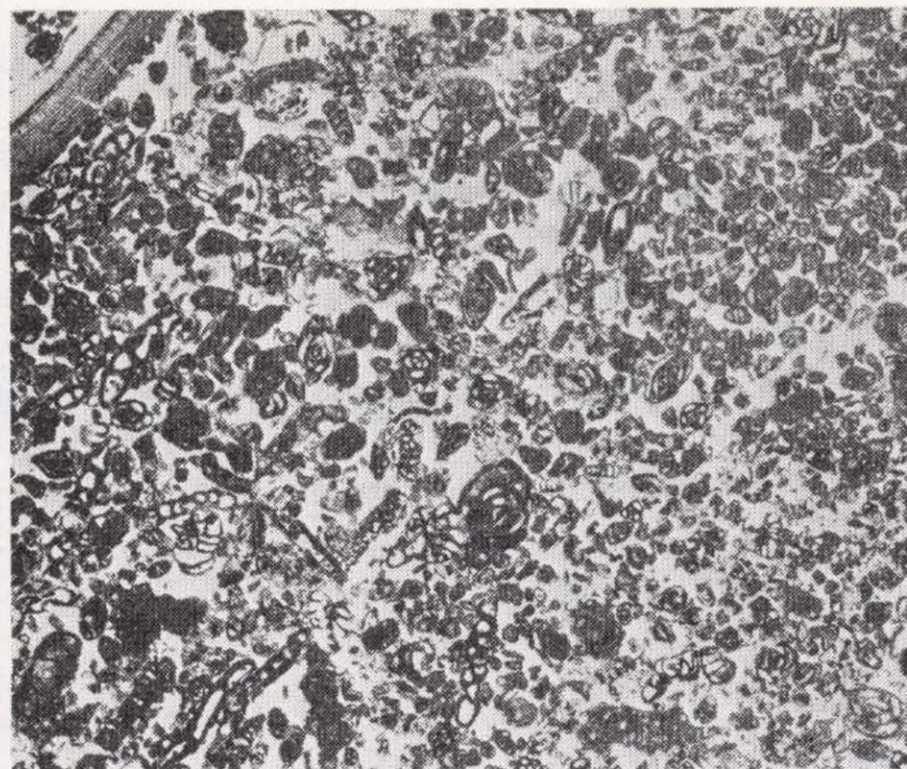


Lámina I: Microfacies características del Senoniense. Fot. 1. Micrita con fósiles e intraclastos (M-183), con secciones de *Lacazina* cf. *elongata* MUNIER-CHALMAS (muy Formada) y *Triloculina* sp. (x 20). Fot. 2. Biomicrita con "peloids" (M-185) con secciones de *Spiroplectammina* sp., *Quinqueloculina* sp. y otros Miliólidos (x 20). Foto 3: otro campo de la sección anterior con *Cuneolina* cf. *pavonia*, *Quinqueloculina* sp. y Rotálidos (x 40). Foto 4: Intrabiomicrita (M-191) con secciones de *Nummofallotia* sp., *Quinqueloculina* sp. y *Ostrácodos* (x 20); Foto 5: Intrabiomicrita (M-193) con numerosas secciones de Caráceas (x 20); Foto 6: Micrita con fósiles e intraclastos (cailloux noirs) (M-198) con secciones de *Minouxia* cf. *lobata* GENDROT y *Gavelinella* sp. (x 20).

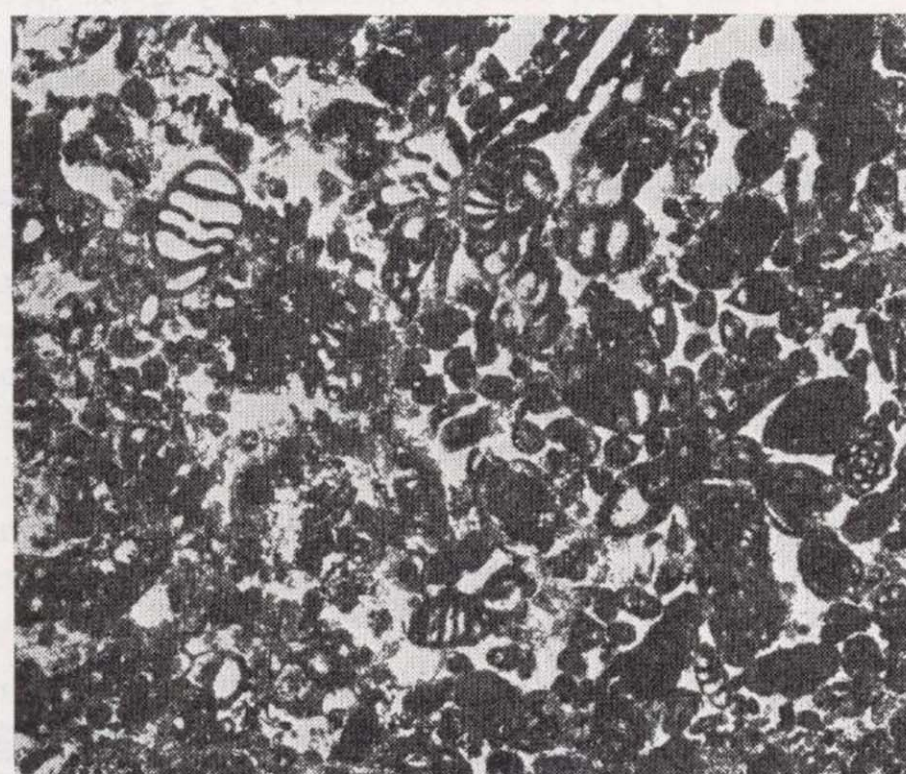




1



2



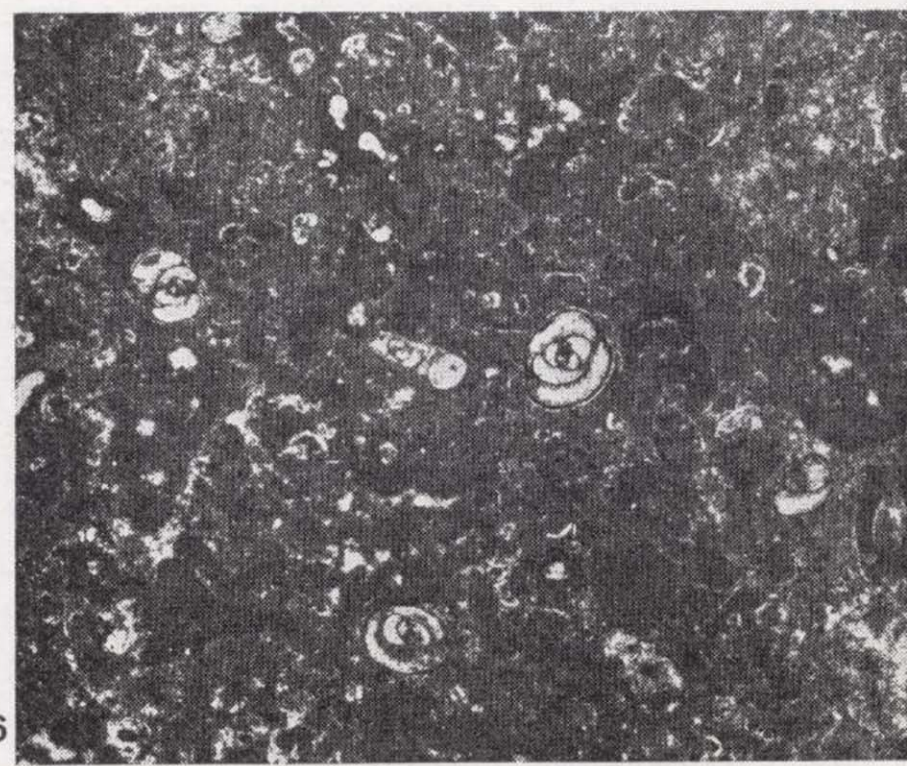
3



4



5



6

Lámina I: Microfacies características del Senoniense. Fot. 1. Micrita con fósiles e intraclastos (M-183), con secciones de *Lacazina* cf. *elongata* MUNIER-CHALMAS (muy Formada) y *Triloculina* sp. (x 20). Fot. 2. Biomicrita con "peloids" (M-185) con secciones de *Spiroplectammina* sp., *Quinqueloculina* sp. y otros Miliólidos (x 20). Foto 3: otro campo de la sección anterior con *Cuneolina* cf. *pavonia*, *Quinqueloculina* sp. y Rotálidos (x 40). Foto 4: Intrabiomicrita (M-191) con secciones de *Nummofallotia* sp. *Quinqueloculina* sp. y *Ostrácodos* (x 20); Foto 5: Intrabiomicrita (M-193) con numerosas secciones de Caráceas (x 20); Foto 6: Micrita con fósiles e intraclastos (cailloux noirs) (M-198) con secciones de *Minouxia* cf. *lobata* GENDROT y *Gavelinella* sp. (x 20).



ceas. Dentro de este esquema, la zona estudiada corresponde al borde oriental del umbral indicado, en el que tras un régimen lacustre, en el que alternaban los depósitos de calizas y margas, se instala tras la emersión de la zona un régimen fluvial con depósitos detríticos. Esta emersión es posterior a la deposición de los yesos y tramo superior detrítico en Villalba de la Sierra, ya que se realiza con posterioridad al cambio florístico que acaece en Villalba de la Sierra después de este episodio evaporítico.

#### AGRADECIMIENTOS:

La microfauna de Foraminíferos ha sido determinada por el Dr. J. USERA MATA, del Departamento de Geología de la Universidad de Valencia, a quien agradecemos su inestimable ayuda.

#### BIBLIOGRAFIA

- BRINKMANN, R.: *Betikum und Keltiberitum in Südostspanien*. "Beitr. zur. Geol. der West. Mediterrangebiete", 6 (Trad. espak.: Publ extr. Geol. España. C. S. I. C., Madrid, 1948 (1931).
- DUPUY DE LOME, E. y MARÍN DE LA BÁRCENA, A.: Memoria y Hoja Geológica núm. 745 (Jalancé). E. 1:50.000 I. G. M. E. Madrid (1960).
- FOURCADE, E.: *Murciella cuvillieri* n. gen., n. sp. nouveau Foraminifère du Sénonien supérieur du Sud-Est de l'Espagne. "Rev. Micropaléontol.", 9, 147-155. París (1966).
- FOURCADE, E.: *Le Jurassique et le Crétacé aux confins des chaînes Bétiques et Ibériques (Sud-Est de l'Espagne)*. "Thèse Fac. Sci.". París. 428 p. (1970).
- GARCÍA QUINTANA, A.: *El Cretácico inferior de la Sierra de Martés*. "Sem. Estr.", 9, 27-31. Madrid (1973).
- GUTIÉRREZ, G.; ROBLES, F.; MELÉNDEZ, A., y USERA, J.: *El Cretácico superior de la Sierra Perenchiza (Valencia)*. *I Coloquio Estratigrafía y Paleogeografía del Cretácico. Bellaterra-Tremp*. Sept. 1973. ENADIMSA. Trabajos de Congresos y Reuniones, 1, 151-158 (1975 a).
- GUTIÉRREZ, G.; MELÉNDEZ, A.; ROBLES, F., y USERA, J.: *El Cretácico superior continental de la Sierra de Borsó*. "Estudios geol.", 31, 563-570. Madrid (1975 b).
- GUTIÉRREZ, G. y ROBLES, F.: *Biostratigraphie du Sénonien continental des environs de Villalba de la Sierra (Province de Cuenca, Espagne)*. "Paléobiologie continentale", 7, (2), 1-17. Montpellier (1976).
- HAMAOU, M. y FOURCADE, E.: *Révision des Rhapydionininae (Alveolinidae, Foraminifères)*. "Bull. Centre Rech. Pau." SNPA 7, 361-435 (1973).
- MAS MAYORAL, J. R.; ASENJO GÓMEZ, A., y GARCÍA QUINTANA, A.: *El Cretácico superior en el sector Villa de Ves-Cortes de Pallás*. "Sem. Estr.", 11, 7-19. Madrid (1975).
- MELÉNDEZ-HEVIA, F.; VILLENA-MORALES, J.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; PORTERO-GARCÍA, J.; OLIVE-DAVO, A.; ASSENS-CARRÓS, J., y SÁNCHEZ-SORIA, P.: *Síntesis del Cretácico de la zona Sur de la "Rama Castellana" de la Cordillera Ibérica*. Symposium sobre el Cretácico de la Cordillera Ibérica. Cuenca, 9-12 septiembre 1974, p. 243-252 (1975).
- NEUMANN, M.: *Manual de Micropaléontologie des Foraminifères. Saccamidae à Ataxophragmidae*. Gauthiers-Villars. París, 197 p. (1967).
- PLAZIAT, J. C.: *Vidaliella gerundensis* (VIDAL) et les autres bulimoides del'Eocene du nord de l'Espagne et du sud de la France. Caractérisation paléobiométrique et descriptive de l'espèce et répartition stratigraphique des *Vidaliella* et *Romanella* de ce domaine. "Paléobiologie continentale", 4, 1-34. Montpellier (1973).
- RAMÍREZ DEL POZO, J.: *Bioestratigrafía y microfacies del Jurásico y Cretácico del Norte de España (Región Cantábrica)*. "Mem. Inst. Geol. Min. de España", tres tomos, 357 p. (1971).
- WENZ, W.: *Gastropoda*, I: *Allgemeiner Teil und Prosobranchia* in "Handb. d. Paläozoologie", 6 (1), 1639p. Berlín (1938-1944).

Recibido: Julio 1977.

## Hipótesis sobre la tectónica global de la península Ibérica

Por J. MENDUIÑA FERNANDEZ (\*)

#### RESUMEN

Con el auxilio de las imágenes de satélites y por la integración de la síntesis cartográfica, indicios geotérmicos, epicentros sísmicos, anomalías residuales de Bouguer, las cotas topográficas de 1.000 y 1.500 metros, e indicios mineros se llega a establecer una hipótesis sobre la tectónica global de la península Ibérica.

#### ABSTRACT

Tying together geologic maps, locations of geothermal areas, seismic epicenters, residual Bouguer anomalies, and 1.000 and 1.500 meter topographic contours, studies of mineralized areas, and with the help of satellite photos, we have arrived at a hypothesis concerning the regional tectonics of the Iberian Peninsula.

#### INTRODUCCION

La complejidad de la península Ibérica ha sido descrita por numerosos autores que se han preocupado de estos temas.

Desde que en 1888 Sues, E. publica un esbozo de su estructura hasta la actualidad, no han cesado de aparecer interesantes publicaciones sobre este tema, tanto de forma global como de las unidades geológicas que la componen.

La intensa labor realizada por numerosas personas y equipos y el perfeccionamiento sufrido por las técnicas auxiliares de la geología permiten hacer conjeturas sobre su evolución, que se piensan muy próximas a la realidad.

Una de las técnicas que se han desarrollado más rápidamente, es la toma de información a distancia o sensores remotos; esta técnica está originando una nueva metodología en los trabajos relacionados con el suelo y el subsuelo de nuestro planeta.

Haciendo una breve historia, diremos que esta técnica nació con fines estratégicos durante la primera guerra mundial, comercializándose las prime-

ras cámaras para fotografías aéreas al finalizar la contienda.

Durante la segunda guerra mundial se impulsa de nuevo esta técnica, lográndose imágenes de gran calidad y desarrollándose sensibilidades en emulsiones, para ciertas zonas del espectro de forma selectiva.

Terminado el conflicto, estas técnicas se utilizaron con fines pacíficos, fundamentalmente en la evaluación de los recursos y en las décadas de los años sesenta y setenta la N. A. S. A. (National Aeronautics and Space Administration) promueve, subvenciona y coordina las actividades de varias universidades y agencias estatales en un esfuerzo para alcanzar las máximas aplicaciones de esta técnica.

El 23 de julio de 1972 la N. A. S. A. puso en órbita el primer satélite artificial para el estudio de los recursos naturales. Satélites posteriores han ido enriqueciendo esta información.

El 4 de mayo de 1976, desde la base de Vandenberg, en la costa californiana, se lanza el satélite "LAGEOS" (Laser Geodynamic Satellite) cuya función es la de ayudar al conocimiento de los movimientos relativos de las placas corticales, pudiendo-

(\*) I. G. M. E. División de Investigaciones Mineras.



se realizar mediciones de uno a otro continente con precisión en los desplazamientos de 2 cm.

En España, se ha iniciado ya por organismos estatales, paraestatales, universidades y empresas privadas, la utilización de estas imágenes para la interpretación geológica de amplias zonas de la península Ibérica.

Según noticias y propaganda comercial llegada hasta nosotros, ya se han hecho estudios completos sobre toda la península por ingleses y franceses en base a estas imágenes, siendo fácil deducir que tanto americanos como rusos, por ser los pioneros en estos nuevos sistemas y para basar su estrategia económica habrán realizado estas interpretaciones.

## LA TEORIA DE LA TECTONICA DE PLACAS PARA LA PENINSULA IBERICA

Después de situada en el mundo la Red Standar Sísmica Internacional se definieron áreas lineales del globo que son sísmicamente activas, localizándose además la profundidad de estos sismos, diferenciándose los poco profundos, que se corresponden con zonas de las dorsales atlánticas, así como zonas de choques entre continentes y los profundos que están asociados a zonas de subducción.

En la península no disponemos de la situación de hipocentros (dos en el área de Granada solamente y en el mismo punto), y si se dispone de epicentros

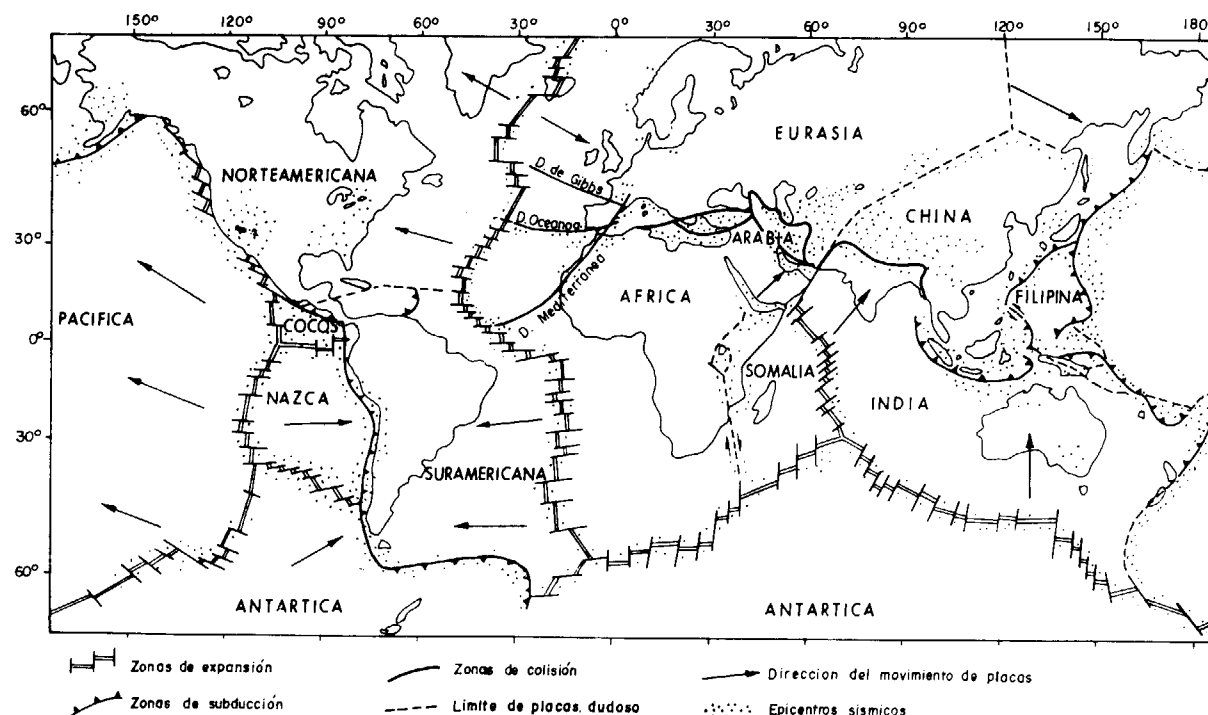


Figura 1

Esquema de la tectónica global (según diversos autores)

Por la reducida extensión que se quiere dar a este artículo se prescinde de metodología que se ha seguido, y solamente expondremos nuestras conclusiones, estando basadas éstas en la integración de los elementos siguientes: síntesis cartográfica, mapa geoestructural de la península, mapa inventario de indicios geotérmicos, anomalías residuales de Bouguer, datos de sismicidad, cotas topográficas sobre el nivel del mar de 1.000 y 1.500 m, interpretación de las imágenes satélites a escala 1:1.000.000 e indicios mineros.

que en muchos de los casos adolecen de falta de precisión, sin embargo, son válidos para que nos definan una amplia banda que se sitúa rodeando la península, siendo las zonas más activas sísmicamente las Béticas, área Mediterránea (Murcia, Alicante, Valencia, zona de Olot) y los Pirineos.

Los gradientes geotérmicos es otra de las bases de la Teoría de la Tectónica de Placas, localizándose manifestaciones geotérmicas en las áreas señaladas sísmicamente activas en general, aunque existen zonas como las de Orense, Campo de Calatrava

y puntos aislados en la península que presentan geotermismo.

El volcanismo peninsular postcinemático está distribuido de forma relativamente ordenado, existiendo variedades ácidas y básicas en Cartagena, Almería y campos de Olot, si bien la generalidad de las manifestaciones volcánicas son básicas en las islas de Alborán, Campos de Calatrava, Cofrentes, Sueca, islas Columbretes.

Gracias a la investigación petrolífera se han puesto de manifiesto los volcanismos del golfo de Vizcaya, asociados a una discontinuidad conocida inter-

definido que la dorsal Atlántica inició su abertura hace 180 m. a. y por tanto las discontinuidades que hemos definido son al menos de esa edad o posteriores.

Otra discontinuidad que presenta volcanismo basáltico y en algunos casos ácido, es la definida por el volcanismo de Melilla, islas de Alborán, Almería, Cartagena, Sueca, isla Columbretes y campo de Olot; la continuidad en el Mediterráneo de esta discontinuidad ha sido puesta de manifiesto gracias a la intensa investigación petrolífera. A esta discontinuidad la denominaremos discontinuidad Mediterránea.

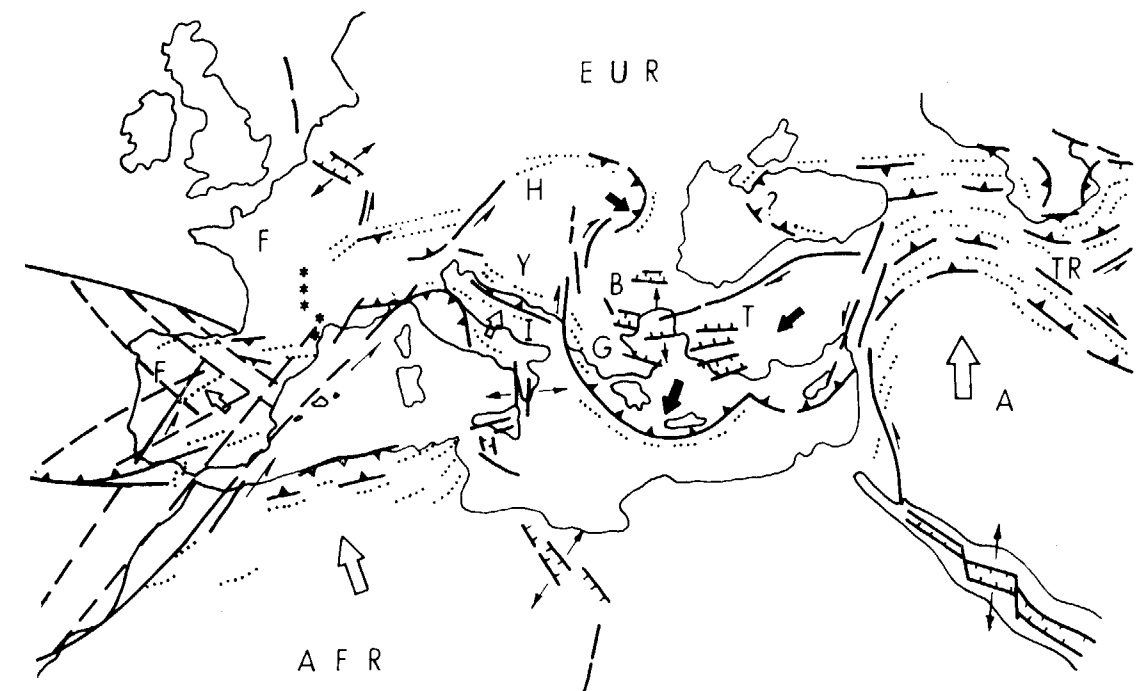


Figura 2

nacionalmente como de Gibbs o Labrador-Biscaye Fault, coincidente con la discontinuidad nortpirenaica.

Al sur del cabo de San Vicente se admite internacionalmente la discontinuidad de Oceanographer o de las Azores y que Le Pichon asocia a una zona de compresión. Queda claramente definida por la batimetría con una alineación de pitones que se han probado como basaltos.

Se inicia esta discontinuidad en las islas Azores y su terminación es dudosa, siendo segura hasta el sur del cabo de San Vicente, en Portugal.

Por magnetometría y datación absoluta, se ha

El sistema alpino Mediterráneo, parece estar justificado por numerosos autores como un choque entre las placas Euroasiáticas y la Africana, posiblemente este sea el origen de la abertura de la discontinuidad Mediterránea que provoca la salida por distensión de los materiales basálticos, teniendo su homóloga al otro lado del continente africano, en el mar Rojo.

Las orientaciones de las cotas topográficas de 1.000 y 1.500 metros en la península Ibérica, es una observación a favor de unos empujes N-S ya que la generalidad es la dirección E-W (Cordillera Cantábrica, Pirineos, Sierra de la Demanda, macizo



Central, girando en la Sierra de Guadarrama hacia el Norte y Béticas). La cordillera Ibérica es una excepción, ya que no presenta una polaridad definida. Si deducimos los empujes de la Dorsal Atlántica, comprobamos dos direcciones claramente diferenciadas, la W-E hasta el paralelo 60° S y S-N al sur del continente africano.

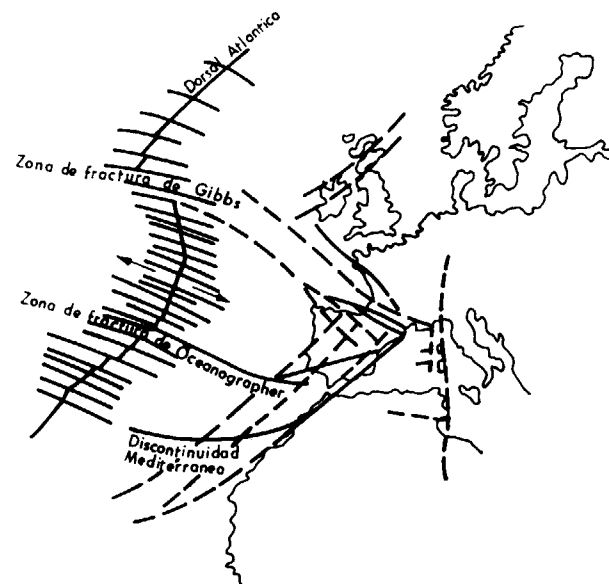


Figura 3

Las direcciones estructurales son coincidentes con estas direcciones de esfuerzos definidos anteriormente.

No argumentamos con más datos por considerar que solamente tratamos de ofrecer un encuadre de la Península en la tectónica global.

#### DIRECCIONES ESTRUCTURALES Y DE FRACTURACION DE LA PENINSULA

Gracias al auxilio de las imágenes de satélite, se han podido definir las siguientes direcciones de lineamientos (según terminología lineament).

N, N-20°, N-36°, N-58°, N-66°, N-72°, N-78°, N-90°, N-102°, N-132°, N-168°.

Además, hemos obtenido módulos de frecuencias con nuestra metodología y que no describiremos por razones obvias de espacio, en la que se pone claramente de manifiesto que la dirección más frecuente es la de N-66°, que se corresponde aproximadamen-

te con la dirección del escalón morfo-geológico del valle del Guadalquivir, seguido de la dirección N-36°, coincidente con la dirección de la discontinuidad Mediterránea y el dique de Alentejo-Plasencia; la dirección N-90° es el tercer grupo en frecuencia y coincide con la dirección de distensión de las costas cantábricas, sur de Portugal y la costa de Málaga-Almería.

La abundante bibliografía consultada, nos resume las direcciones expresadas anteriormente en las direcciones siguientes: N-S, NE-SW (N-30°), NE-SW (N-60°), E. NE-W. SW (N-80°), W. NW-E. SE (105°) y NW-SE (N-120°). Todas ellas se corresponden con direcciones de fracturación observadas en las cartografías y estudios tanto locales como regionales.

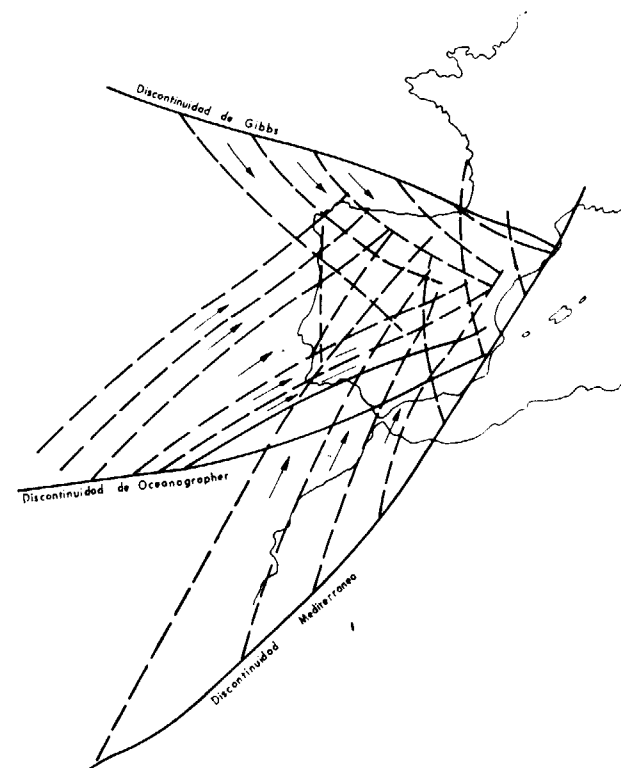


Figura 4

J. R. Parga para el Macizo Hespérico define las siguientes direcciones de fracturación:

— Sistema conjugado de cizallamiento biserial constituido por fracturas NE-SW con direcciones N-50° y N-120° marcando como desplazamientos en la dirección N-50° el bloque sur hacia el E y para las de N-120° el bloque S hacia el W.

— Sistema de cizallamiento monoserial asociado al sistema conjugado anterior con dirección N-20° y un desplazamiento hacia el N del bloque oriental.

El sistema E-W y N-S lo define como que ha jugado preferentemente con movimientos en la verti-

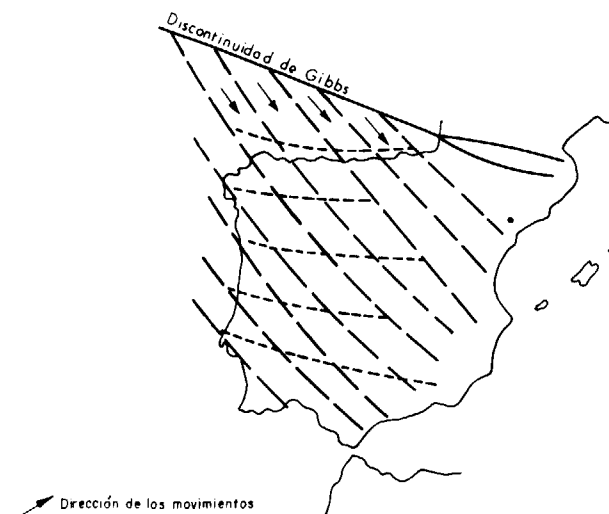


Figura 5

cal. Nosotros interpretamos esta red de fracturación de la siguiente forma:

Las direcciones N-120° se corresponden con la gran discontinuidad de Gibbs.

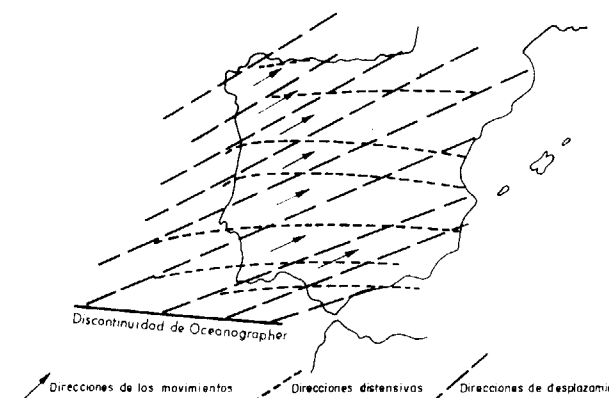


Figura 6

La dirección N-60° sería provocada por la discontinuidad de Oceanographer.

La dirección N-20° está provocada por la discontinuidad Mediterránea.

Los sistemas E-W y N-S, para nosotros son distensivos y están producidos por las mismas discontinuidades, diferenciándose las siguientes direcciones distensivas: N-0°, que se corresponde con la conjugada de distensión de la discontinuidad Mediterránea, y nos configura el estado actual de la costa W atlántica portuguesa; la dirección N-105°, que se produce en las distensiones de la discontinuidad de Gibbs; y por último N-80°, que se correspondería con distensiones de la discontinuidad de Oceanographer.

Estas direcciones quedan representadas en las figuras 5, 6 y 7.

Con respecto a las direcciones estructurales de los ejes de pliegues hemos obtenido de la síntesis del mapa estructural de España las siguientes observaciones: el macizo herciniano forma un gran arco con el centro aparente en la Rodilla Astúrica; la

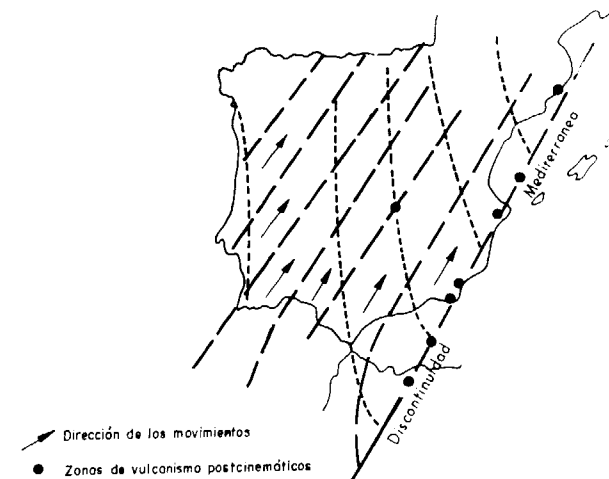


Figura 7

cordillera Cantábrica en su zona Este, tiene una orientación general E-W aproximadamente, al igual que los Pirineos y Sierra de la Demanda; la cordillera Costero-catalana presenta una orientación NE-SW (N-30°); la cordillera Ibérica presenta una orientación N-S y NW-SE; y, por último, las Béticas se presentan con una orientación E-W (N-80°).

Estas direcciones estructurales nosotros las interpretamos de la forma siguiente:

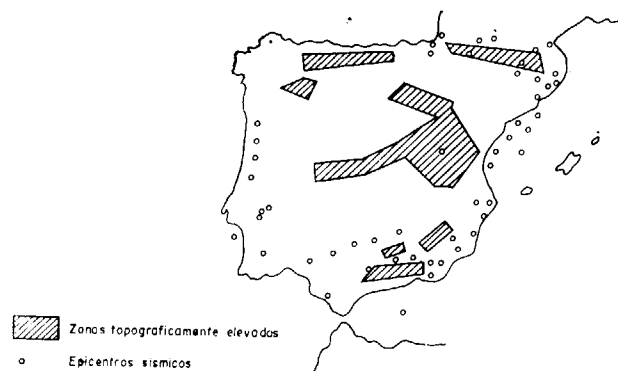
El arco del macizo herciniano es producido por las actuación de las discontinuidades de Gibbs y Oceanographer, tanto más activos los desplazamientos cuanto más próximas están las unidades de las discontinuidades.



La orientación E-W, tiene su justificación por la actuación conjunta de las discontinuidades de Gibbs y Mediterránea con sus variantes en función de la proximidad.

Y, por último, las direcciones N-S y NW-SE de la cordillera Ibérica, se justifican por la actuación de la discontinuidad de Oceanographer principalmente.

Somos conscientes de la mayor complejidad del tema, y prácticamente en la generalidad de los casos, actúan estas discontinuidades en distintos momentos y con variable intensidad, en función de la actividad volcánica que se produzca dentro de la dorsal Atlántica y de las discontinuidades de primer orden.



Con nuestra metodología pensamos que podremos justificar el origen de las cuencas terciarias, los surcos de deposición mesozoicos, las intrusiones de masas de granodioritas tardías, así como otros fenómenos megaestructurales geológicos de la península, por razones de espacio, no hemos tocado estos temas que en principio parecen tener relación con estas discontinuidades de segundo orden y esperamos que en sucesivas publicaciones podamos ponerlo de manifiesto.

#### CARACTERÍSTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES PENINSULARES

Las discontinuidades que afectan a la península Ibérica tiene su génesis en los grandes accidentes transformantes que dislocan a la Dorsal Atlántica. Estos accidentes emiten gran cantidad de material volcánico de forma más o menos puntual o zonal en el tiempo. Este hecho produce una serie de nuevas fallas transformantes de segundo orden y sus

conjugadas distensivas que son las que afectan y condicionan la forma actual del área continental.

Se resaltaba anteriormente que las alineaciones, tienen una relación directa con la fracturación y que por integración de estas llegamos a deducir grandes discontinuidades que son las que condicionan estas características estructurales que observamos en el terreno.

Las discontinuidades continentales por su origen y naturaleza no siempre se presentan claras desde el punto de vista cartográfico, y esto es debido a varias causas: por un lado la profundidad que suele ser de 30 a 50 kilómetros con un efecto de dispersión de 10° sexagesimales por cada lado; da en superficie una zona de reflejo de 15 a 20 kilómetros de anchura; de otro lado está en función de las litologías que tengan que atravesar hasta llegar a la superficie, y, por último, de la velocidad de desplazamiento relativo de las unidades, en los casos de un desplazamiento rápido provocaría fallas de desgarre, o si fuese lento resultarían unas incurvaciones o giros de estructuras en función de la magnitud del desplazamiento.

Las observaciones que podemos establecer acerca de la presencia de discontinuidades sobre el terreno son muy variadas, por el carácter de reflejo de éstas, y transmitiéndose en función de las propiedades mecánicas de las rocas a la superficie, si bien en la generalidad de los casos son interferencias de unas con otras.

#### CONCLUSIONES

La península Ibérica está sometida a dos direcciones de esfuerzos, si bien son altamente complejos en sus manifestaciones y su edad.

La dirección hacia el Norte por los empujes de la placa africana sobre la placa euroasiática y la dirección hacia el Este debida a la Dorsal Atlántica. Estos empujes se manifiestan a lo largo de las discontinuidades de Oceanographer y Gibbs de las que nacen otras de segundo orden y que nos marcan las direcciones de fracturación en la península.

Los empujes de la placa africana están representados en la Península por la discontinuidad Mediterránea, de forma que el bloque Este se desplaza hacia el Norte, siendo más marcado este desplazamiento cuanto más al Este de la península. La conjugada de estos desplazamientos son discontinuidades N-S, que actúan distensivamente y condicionan en parte las cuencas terciarias, siendo posible que

hayan actuado en distintos momentos de la historia geológica de la península.

La discontinuidad de Gibbs justifica para nosotros las fracturaciones de dirección NW-SE (N-120°). Es una dirección compleja que actúa en dos momentos con desplazamientos iniciales hacia el SE y posteriormente como respuesta a los empujes de la placa africana hacia el NW, observándose en las zonas de mayor rigidez de los materiales.

Conjugada de esta dirección, existe la distensiva E-W (N-105°) que nos condiciona en parte los bordes de las cuencas terciarias.

La discontinuidad de Oceanographer nos justifica la fracturación NE-SW (N-60°), el sentido de desplazamiento es el bloque Sur hacia el Este.

La dirección, conjugada distensiva la situamos E-W (N-80°), y junto con la de N-105° nos condiciona los bordes E-W de las cuencas terciarias en algunos casos.

M. ALÍA (1976) describe una megaestructura cupuliforme que la denomina bóveda Castellano-Extremeña. Por las anomalías residuales de Bouguer observamos un engrosamiento de corteza en esta zona y en la cordillera Ibérica.

J. A. MARTÍNEZ ALVAREZ (1974) define el triángulo ibérico-meseteño.

Lógicamente todos estos datos son coherentes con el modelo que se propone, ya que el vértice mediterráneo es el de mayor tensión y en el que se unen los desplazamientos de las conjugadas de las tres grandes discontinuidades descritas.

La forma del arco del Macizo Hercínico, creemos que tiene su justificación al ser mayores los desplazamientos cuanto más nos acercamos a las zonas de las discontinuidades principales.

Relacionado con estas discontinuidades tenemos: la formación de cuencas terciarias, la topografía con la polaridad E-W, las direcciones estructurales y la fracturación que parece estar justificadas para la orogenia alpina, según el esquema que se propone.

#### AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis compañeros de la División de Investigaciones Mineras del IGME, así como con cuantos he tenido cambios de impresiones sobre este tema y especialmente a don Fernando Vázquez Guzmán por sus ideas, sugerencias y facilidades dadas sobre la realización del trabajo que ha dado origen al presente artículo.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALÍA MEDINA, M.: *Una megaestructura de la Meseta Ibérica: La bóveda castellano-extremeña*. *Est. Geol.*, 32 (1976).
- ALÍA MEDINA, M.: *Evolution post-hercynienne dans les régions centrales de la meseta espagnole*. 24th. Inter Congres sect., 3, Canadá (1972).
- ANDRIEUX, J.; FONTBOTÉ, J. M., y MATTAUER, M.: *Sur un modele explicatif de l'arc de Gibraltar. East and planetary*. *Science Letters* (1971).
- BONELLI RUBIO, J. M. y CHACÓN ALONSO, L.: *Estudio de la sismicidad de la zona murciano-atlántica*. "Inst. Geográfico y Catastral" (1961).
- CRUZ SANJULIÁN, J.; GARCÍA ROSSEL, L., y GARRIDO BLASCO, J.: *Agua termal de la provincia de Granada*. "Boletín Geológico y Minero" (1972).
- CARBALHO DE DELFIM: *Lineament patterns and hypogene mineralization in Portugal*. "Serviço de Fomento Mineiro" (1974).
- DÍAZ DE BERRICANO, I., PENDÁS FERNÁNDEZ, F.: *Los Recursos geotérmicos*, ENADAMISA ediciones, serie 3, núm. 2.
- GARCÍA DE FIGUEROLA, L. C.: *El dique de Alentejo-Plasencia y haces de diques básicos de Extremadura*. "Bol. Geol. y Minero", t. 85-III (1974).
- LÓPEZ RUIZ, J.: *Tectónica de placas y volcanismo*. "Bol. Geol. y Minero", t. 87-VI (1976).
- LOZANO CALVO, L.: *Mapa para el cálculo de las reducciones topo-isostáticas*. "Inst. Geográfico y Catastral" (1961).
- MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A.: *Consideraciones respecto a la zona de fractura (falla Cantábrica) que se desarrolla desde Aviles (Asturias) hasta Cercera de Pisuerga (Palencia)*. *Acta geol. hisp.*, 5 (1968).
- MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A.: *Sobre la posición geoestructural de la Península Ibérica*. "Bol. Geol. y Minero", tomo 85-V (1974).
- MUNUERA, J. M.: *Mapa de zonas sísmicas generalizadas de la Península Ibérica*. "Inst. Geográfico y Catastral" (1969).
- MUNUERA, J. M.: *Mapa sísmico español de intensidad probable*, Memorias del Inst. Geográfico y Catastral, tomo XXXIV, cuaderno II (1975).
- ORIOL RIBA RIBA: *Geotermismo de la zona de Olot*. "Bol. Geol. y Minero", t. 86-I (1975).
- TAPPONNIER, P.: *Evolution tectonique du système alpin dans la Méditerranée: poinçonnement et acrasement rigide-plastique*.
- UBANELL, A. G.: *Los diques aplíticos de Almorox-Nava-marquende (Sistema Central español) en relación con los "decrochements" dextrales tardihercínicos*. *Serviços geológicos de Portugal* (1976).
- UBANELL, A. G.: *Modelo de fracturación de la región central española basado en las imágenes obtenidas por satélites*. "Studia Geologica", XII (1977).

Recibido: Noviembre 1977.



Medida del tiempo geológico por el método Rubidio-Estroncio

Por J. GARCIA GARZON (\*) y M. BALBAS ANTON (\*\*)

RESUMEN

En el presente trabajo se describen los fundamentos del método Rb-Sr de las isocronas y su aplicación a la datación de edades de rocas y minerales, así como su utilización en petrogénesis.

SUMMARY

In this work is described the rubidium-strontium isochron method of dating rocks and minerals, and its application to petrogenesis.

1. INTRODUCCION

Antes de aplicar los métodos radiactivos a la datación, las edades de las rocas se averiguaban por el estudio de las relaciones de sedimentación y erosión de los materiales geológicos. Después de su descubrimiento en 1896, la radiactividad fue aplicada muy pronto a la resolución de problemas geológicos, y a partir de 1902 se hicieron avances muy rápidos en este campo. Pronto se hizo notar, que para obtener el máximo rendimiento en las medidas radiactivas, eran necesarias técnicas físicas y químicas muy precisas, y estos requerimientos fueron parcialmente hallados durante y después de la segunda guerra mundial, con el desarrollo de la energía atómica y sus campos de estudios asociados.

Numerosos esfuerzos fueron realizados para determinar la edad de la Tierra y para dividir esta edad en períodos y éstos a su vez en épocas, y numerosas fueron las hipótesis desarrolladas que sirvieran de apoyo a esos esfuerzos; hipótesis que bajaron de valor con el descubrimiento de la radiactividad, que marcaba una nueva época en el desarrollo de la Geocronología.

(\*) Doctor Ingeniero de Minas. Laboratorio de Geocronología del I. G. M. E.  
(\*\*) Ingeniero de Minas. INGEPLAN.

La aplicación de la radiactividad a la datación de rocas y minerales depende de cuatro requisitos fundamentales:

- 1.º Que un átomo padre N se convierta en radiactivo al azar
- 2.º Que el átomo padre N se transforme en un átomo hijo D por desintegración radiactiva.
- 3.º Que cuando un átomo padre N se transforme en átomo hijo D, la constante de desintegración pueda ser conocida con precisión.
- 4.º Que una vez ocurrido el suceso geológico objeto del estudio, el sistema permanezca cerrado tanto para el padre N como para el hijo D.

Si por métodos químicos o físicos pueden conocerse la concentración de N presente y la cantidad de hijo D, entonces, conociendo la relación del cambio N-D se puede calcular la edad. Por consiguiente un proceso radiactivo se puede equiparar a un reloj geológico puesto a cero al tiempo que se produce un suceso geológico.

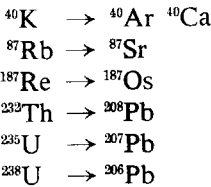
Es necesario que la relación del cambio N-D no sea muy grande en relación con la edad de la muestra; por el contrario, la cantidad de hijo D producido no será demasiado pequeña, para ser detectado incluso por las técnicas físicas y químicas más refinadas.

En la tabla 1 (Hamilton, 1965), se dan los elementos radiactivos encontrados en la naturaleza junto con sus abundancias isotópicas y sus períodos de semidesintegración.

TABLA 1  
Elementos radiactivos encontrados en la naturaleza

Padre	% abundancia	Hijo y forma de desintegración	T <sub>1/2</sub> semiperíodo (años)
<sup>40</sup> K ... ..	0,0119	e <sup>40</sup> Ar β- <sup>40</sup> Ca <sup>b</sup>	1,33 · 10 <sup>9</sup>
<sup>87</sup> Rb ... ..	27,85	β- <sup>87</sup> Sr	5,00 · 10 <sup>10</sup>
<sup>115</sup> In ... ..	95,77	β- <sup>115</sup> Sn	6,00 · 10 <sup>14</sup>
<sup>138</sup> La ... ..	0,089	e <sup>138</sup> Ba β- <sup>138</sup> Ce <sup>b</sup>	~ 7,00 · 10 <sup>10</sup>
<sup>147</sup> Sm ... ..	15,09	α <sup>143</sup> Nd	1,25 · 10 <sup>16</sup>
<sup>176</sup> Lu ... ..	2,59	e <sup>176</sup> Tb β- <sup>176</sup> Hf <sup>b</sup>	2,40 · 10 <sup>10</sup>
<sup>187</sup> Re ... ..	62,93	β- <sup>187</sup> Os	~ 5,00 · 10 <sup>10</sup>
<sup>232</sup> Th ... ..	100,00	complejo <sup>208</sup> Pb	1,39 · 10 <sup>10</sup>
<sup>235</sup> U ... ..	0,72	complejo <sup>207</sup> Pb	7,10 · 10 <sup>8</sup>
<sup>238</sup> U ... ..	99,27	complejo <sup>206</sup> Pb	4,50 · 10 <sup>9</sup>

Por las razones anteriores, de estos procesos se utilizan en Geocronología los siguientes:



La radiactividad del rubidio fue puesta de manifiesto por primera vez por J. J. THOMSON en el año 1905, y más tarde confirmada por CAMPBELL y WOOD (1906). Sin embargo, el isótopo radiactivo del rubidio en la naturaleza no fue identificado hasta 1937. En este año, HAHN, STRASSMAN y WALLING (1937), separaron estroncio de una muestra de lepidolita precedente de la mina Silver Leaf de Manitoba, y MATTAUCH (1937) demostró por espectrometría de masas, que el 99,7 por 100 de este estroncio era <sup>87</sup>Sr. Como se conocía que el rubidio podía emitir partículas beta cargadas negativamente, quedaba claro que el <sup>87</sup>Sr en esta lepidolita se había formado por desintegración del <sup>87</sup>Rb. Esta conclusión fue confirmada por HEMMENDINGER y SMYTHE (1937), quienes demostraron que el <sup>87</sup>Rb era el único isótopo radiactivo del rubidio que existía en la naturaleza.

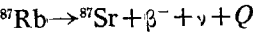
La aplicación de este fenómeno a la medida de edades de minerales ricos en rubidio y muy antiguos, fue sugerida por GOLDSCHMIDT (1937). HAHN y WALLING (1938) discutieron en detalle la posibilidad de utilizar el "método estroncio" para datar mine-

nerales tales como lepidolita o feldespato potásico, que podían contener un porcentaje alto de rubidio. Unos años más tarde, HAHN y colaboradores (1943) publicaron una determinación de edad basada en la transformación del <sup>87</sup>Rb de una polucita procedente de Varutrask, en Suecia, para la que obtuvieron una edad de 530 millones de años.

Estas primeras determinaciones fueron aplicables solamente a minerales ricos en rubidio y basadas en medidas gravimétricas de las concentraciones de rubidio y estroncio, combinadas con una determinación de la composición isotópica del estroncio, en un espectrómetro de masas, tal como fue descrito por MATTAUCH: (1938, 1947). Con objeto de utilizar el "método estroncio" para datar minerales más comunes, pero más pobres en rubidio, tales como biotita, muscovita y feldespato potásico, se hacía necesario desarrollar unas técnicas analíticas más sensibles y precisas, y fue en el año 1950 cuando al estar a punto, comenzó en Estados Unidos la verdadera investigación geocronológica. Desde entonces, las técnicas analíticas y de instrumentación han sido desarrolladas hasta el punto de que muchos minerales, así como rocas ígneas, metamórficas y algunas sedimentarias, ahora pueden ser datadas con plena confianza por método Rb-Sr.

2. TRANSFORMACION RADIATIVA DE <sup>87</sup>RB A <sup>87</sup>Sr.

El <sup>87</sup>Rb se transforma en <sup>87</sup>Sr estable por emisión de una partícula beta según el esquema siguiente.



Siendo:

- β<sup>-</sup> = partícula beta con una carga electrónica de -1.
- ν = neutrino.
- Q = energía de transformación, que se mide en millones de electrón voltios (Mev).

El valor de Q para la transformación de <sup>87</sup>Rb es 0,275 Mev, que es excepcionalmente bajo para los procesos de transformación beta. Las partículas beta emitidas durante la transformación del <sup>87</sup>Rb pueden tener una energía cinética, que va desde un valor esencialmente 0 hasta 0,275 Mev, que es la energía máxima que pueden alcanzar. En cada transformación, la energía cinética del neutrino es la diferencia entre la energía máxima de la transforma-



ción y la energía cinética de la partícula beta. Como los neutrinos rara vez interaccionan con la materia, son portadores de esa energía cinética en el espacio. Por otro lado, las partículas beta son rápidamente frenadas por colisionar con los electrones y su energía cinética es convertida en energía térmica. La baja energía cinética de las partículas beta emitidas por el  $^{87}\text{Rb}$  hace muy difícil su precisa determinación y da lugar a una importante incertidumbre cuando se trata de medir la constante de desintegración específica del  $^{87}\text{Rb}$ .

La relación de transformación de un elemento radiactivo, llamado padre  $N$  a otro estable llamado hijo  $D$  es proporcional al número de átomos de padre presentes. Esta ley de transformación radiactiva puede ser expresada por la ecuación diferencial siguiente:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

que rige la velocidad de desintegración radiactiva. Donde  $\lambda$  es la constante de desintegración, que puede ser determinada experimentalmente para cada núclido radiactivo. El signo menos es debido a que la relación de transformación decrece con el tiempo.

Integrando la ecuación anterior se obtiene:

$$\begin{aligned} \frac{dN}{N} &= -\lambda dt \\ \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} &= -\int_0^t \lambda dt \\ L N \Big|_{N_0}^N &= -\lambda t \Big|_0^t \\ L N - L N_0 &= -\lambda t \\ \frac{N}{N_0} &= e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Donde:

$N_0$  = número de átomos padre radiactivos, presentes al tiempo de formación de un mineral o roca.

$t$  = tiempo pasado desde la formación del mineral o roca.

A veces es conveniente describir la relación de transformación por medio del período de semidesintegración, que se define como el tiempo que es

necesario que transcurra para que se transformen la mitad de los átomos padres; entonces haciendo:

$$\begin{aligned} t &= T_{1/2} \quad y \quad N = \frac{N_0}{2}; \quad \frac{N_0}{2} = \\ &= N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}; \quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}} \\ -L2 &= -\lambda T_{1/2}; \quad T_{1/2} = \frac{L2}{\lambda} \end{aligned}$$

Como  $L2=0,693$ , podemos fácilmente convertir la constante de desintegración de un núclido radiactivo en su correspondiente período de semidesintegración y viceversa.

La vida de cualquier átomo radiactivo, esto es, el intervalo de tiempo que puede existir sin desintegrarse, puede tener todos los valores, desde cero a infinito, lo que explica la disminución gradual de la actividad, pues de lo contrario, todos los átomos se desintegrarían en el mismo instante. No

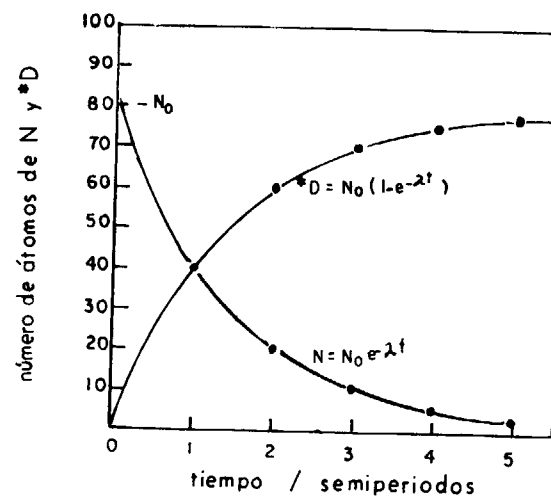


Figura 1

obstante, conviene considerar el tiempo de vida media  $\theta$ , para un gran número de átomos del elemento radiactivo, el cual es el valor medio de la vida de todos los átomos considerados y está relacionado con la constante de desintegración por la siguiente expresión:

$$\theta = \frac{1}{\lambda}$$

La transformación de  $^{87}\text{Rb}$  radiactivo a  $^{87}\text{Sr}$  se ilustra en la figura 1.

La determinación de la constante de desintegración, y por tanto el período de semidesintegración y la vida del  $^{87}\text{Rb}$ , ha sido difícil debido a la baja energía cinética de las partículas beta emitidas por este isótopo, como ya se ha reseñado anteriormente. Para ello se han utilizado tres métodos diferentes y se han obtenido alrededor de treinta valores distintos, muchos de los cuales han sido tabulados.

Estos tres métodos pueden ser clasificados en tres categorías diferentes:

- 1) Medida directa de la actividad beta específica del  $^{87}\text{Rb}$ .
- 2) Determinación de la cantidad de  $^{87}\text{Rb}$  producido por transformación del  $^{87}\text{Rb}$  en el laboratorio.
- 3) Comparación de resultados Rb—Sr y U—Pb obtenidos sobre un mismo mineral o minerales coexistentes, o con resultados K—Ar de los mismos minerales.

Los resultados obtenidos por estos métodos a partir de 1950 dan lugar a períodos de semidesintegración que varían desde  $(4,2 \pm 0,4) \times 10^{10}$  años (GEISE-BÄHNISCH y HUSTER, 1954) a  $(6,23 \pm 0,3) \times 10^{10}$  años (MACGREGOR y WIEDENBCK, 1954). El resultado más ampliamente aceptado para el período de semidesintegración es el obtenido por FLYNN y GLENDENIN (1959) por determinación directa de la actividad beta del  $^{87}\text{Rb}$   $(4,7 \pm 0,05) \times 10^{10}$  años. KOVACH (1966) obtuvo  $(4,77 \pm 0,10) \times 10^{10}$  por un método idéntico. McMULLEN, FRITZE y TOMILINSON (1966) midieron la cantidad de  $^{87}\text{Sr}$  radiogénico producido durante un período de siete años, a partir de una pequeña cantidad de perclorato de rubidio purificado, y calcularon un valor de  $(4,72 \pm 0,04) \times 10^{10}$  años para el período de semidesintegración del  $^{87}\text{Rb}$ , valor que está muy de acuerdo con el obtenido por FLYNN y GLENDENIN. Sin embargo, la mayor parte de los geocronólogos, utilizan un valor  $(5,0 \pm 0,2) \times 10^{10}$  años que fue obtenido por ALDRICH y colaboradores (1956) por comparación de la relación  $^{87}\text{Sr}^*/^{87}\text{Rb}$  de micas con resultados concordantes U—Pb obtenidos de uraninitas y monacitas que coexistían en seis pegmatitas ( $^{87}\text{Sr}^* = ^{87}\text{Sr}$  radiogénico). Para este valor del período de semidesintegración del  $^{87}\text{Rb}$  obtenido, ALDRICH y colaboradores determinaron un valor para la constante de desintegración  $\lambda = 1,39 \times 10^{-11}$  años $^{-1}$ .

### 3. EL AUMENTO DE $^{87}\text{Sr}$ RADIOGENICO EN ROCAS Y MINERALES

El número de átomos radiogénicos hijos  $^*D$  que se han generado por transformación de un padre  $N$  en una muestra de roca o mineral formada hace  $t$  años es:

$$^*D = N_0 - N \quad \text{[III.1]}$$

El número total de átomos hijos en la muestra será:

$$D = D_0 + ^*D \quad \text{[III.2]}$$

donde  $D_0$  es el número de átomos hijos incorporados a la muestra cuando se formó y  $D$  es el número total de átomos hijos en el presente.

Combinando estas dos ecuaciones obtenemos:

$$D = D_0 + N_0 - N \quad \text{[III.3]}$$

y como  $N_0 = N e^{\lambda t}$ , entonces:

$$D = D_0 + N(e^{\lambda t} - 1) \quad \text{[III.4]}$$

Esta ecuación es aplicable a un esquema de transformación que implique la desintegración de un padre radiactivo en un hijo estable. Para adaptar esto a la desintegración del  $^{87}\text{Rb}$  en  $^{87}\text{Sr}$ , sustituimos los símbolos apropiados para  $D$  y  $N$  por los correspondientes de los elementos que corresponden a nuestro caso, y así obtenemos:

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb}(e^{\lambda t} - 1) \quad \text{[III.5]}$$

Es muy útil dividir esta ecuación por el número de átomos de  $^{86}\text{Sr}$ , para formar relaciones que son más fáciles de determinar en el laboratorio que el número de átomos de  $^{87}\text{Sr}$  y  $^{87}\text{Rb}$  en una muestra de roca o mineral. Matemáticamente esto es correcto ya que el número total de átomos de  $^{86}\text{Sr}$  en una muestra de roca o mineral permanece constante, mientras que el número de átomos de  $^{87}\text{Sr}$  crece constantemente por desintegración del  $^{87}\text{Rb}$ . De esta forma podemos escribir:

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} = \left( \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_0 + \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} (e^{\lambda t} - 1) \quad \text{[III.6]}$$

donde:

$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$  = relación de estos isótopos en la muestra cuando se hace el análisis.



$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)$  = relación de estos isótopos al tiempo de formación de la muestra de roca o mineral.

$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$  = relación de estos isótopos en la muestra cuando se hace el análisis.

$t$  = tiempo pasado desde la última cristalización u homogenización isotópica de la muestra.

La relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de una roca o mineral puede ser medida utilizando un espectrómetro de masas adecuado.

Las concentraciones de rubidio y estroncio pueden ser determinadas por varias técnicas, y la relación  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  puede entonces ser calculada.

Si la relación inicial  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$  es conocida, o si es sentido un valor razonable para ella, la ecuación anterior se puede resolver para la variable  $t$ .

El dato resultante será la "edad" de la roca o mineral, teniendo en cuenta que se cumple lo siguiente:

- 1) La relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ha cambiado solamente por desintegración del  $^{87}\text{Rb}$  y no como resultado de una migración de rubidio o estroncio dentro o fuera de la roca o mineral.
- 2) El valor de la constante de desintegración  $\lambda$  es conocido.
- 3) Los análisis son lo exacto y suficientemente precisos como para hacer una determinación de edad perfectamente representativa.

#### 4. METODO DE DATACION RUBIDIO-ESTRONCIO. ISOCRONAS

Los minerales ricos en rubidio, tales como lepidolita, muscovita, biotita o feldespato potásico, de una edad paleozoica o más vieja, son datables por el método Rb-Sr sin mucha dificultad. A pesar de tener una relación Rb/Sr relativamente alta, el estroncio en estos minerales está muy enriquecido en  $^{87}\text{Sr}$  radiogénico. En tales casos, el resultado obtenido a partir de la ecuación [III.6] es insensible al valor inicial de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y se puede hacer una estimación razonable de esta relación a partir del conocimiento de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de rocas volcánicas recientes o de estroncio marino moderno.

Por otra parte, las rocas ígneas y metamórficas generalmente tienen una relación Rb/Sr mucho más baja que los minerales anteriormente citados y su datación, utilizando la modalidad de "roca total", requiere una más cuidadosa evaluación de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

Consideremos el simple caso de una serie de rocas ígneas comagmáticas formadas por fraccionamiento y cristalización de un magma. Todas las muestras de roca perteneciendo a tal serie comagmática deben tener la misma edad o edades muy próximas. Si el estroncio en el magma padre ha sido homogeneizado isotópicamente, las rocas que se formen a partir de él por diferenciación magmática deberán tener también la misma relación inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Sin embargo, como tienen diferente composición mineralógica, diferentes miembros de la serie comagmática, en general tendrán también diferentes concentraciones de rubidio y estroncio y por consiguiente diferente relación  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ .

El examen de la ecuación [III.6] muestra que cuando  $t$  es constante, representa una familia de rectas que tienen la misma pendiente

$$y = b + mx \quad [\text{IV.1}]$$

La pendiente de la recta resultante es:

$$m = e^{\lambda t} - 1 \quad [\text{IV.2}]$$

Mientras que la ordenada en el origen es:

$$b = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0 \quad [\text{IV.3}]$$

Consecuentemente, todos los miembros de una serie comagmática de rocas ígneas que tienen la misma edad, la misma relación inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y han sido un sistema cerrado para el rubidio y el estroncio satisfacen la ecuación [III.6] y se puede representar en una línea recta de coordenadas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (Y) y  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  (X). A esta línea se la conoce con el nombre de isocrona. La pendiente de la isocrona está directamente relacionada con la edad de las rocas representadas sobre la misma, como muestra la ecuación [IV.2]. Mientras que la ordenada en el origen es igual a la relación inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de las rocas, como muestra la ecuación [IV.3].

La figura 2 es una ilustración de este método de datación, que fue propuesto por primera vez por NICOLAYSEN (1961).

Cuando las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  de rocas o minerales son representadas a escala sobre un diagrama de isocronas, cada punto se moverá como una función de tiempo a lo largo de una línea recta de pendiente  $-1$ . Esto se comprende recordando, que cada desintegración reduce el número de átomos de  $^{87}\text{Rb}$  al mismo tiempo que aumenta el de  $^{87}\text{Sr}$ . Sin embargo debido al largo período de semidesintegración del  $^{87}\text{Rb}$ , el cambio resultante en

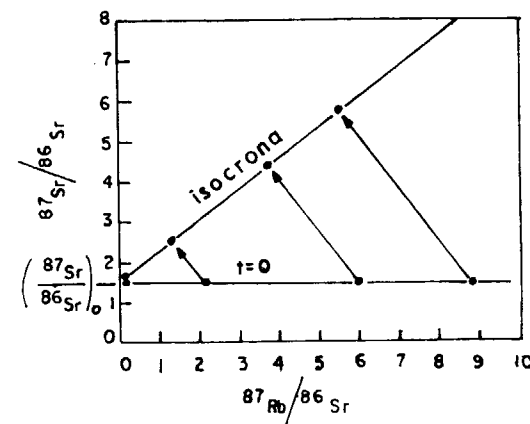


Figura 2

la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  es muy pequeño, y se acostumbra a exagerar la escala vertical con objeto de resaltar la pendiente de la isocrona.

Para datar una serie de rocas o minerales comagmáticos es necesario medir las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  de los mismos. Esto será dibujado a lo largo de una isocrona, previniendo que las muestras sean de hecho comagmáticas y que todas las demás suposiciones se satisfagan. La bondad de los puntos-dato sobre una isocrona, puede ser utilizado para confirmar la suposición de que las muestras eran comagmáticas. Esta suposición estará basada inicialmente sobre una adecuada información geológica, pero debe ser comprobada estadísticamente.

La edad de las muestras que forman la isocrona puede ser calculada a partir de su pendiente utilizando la ecuación [IV.4].

$$t = \frac{1}{\lambda} L(m+1) \quad [\text{IV.4}]$$

Existen varios métodos estadísticos que son válidos para estimar la mejor pendiente y la ordenada en el origen de las isocronas (YOUNDEN, 1951;

McINTIRE y col., 1966; YORK, 1966, 1967). Este método de datación proporciona no sólo la edad de una serie de rocas comagmáticas sino también su relación inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

#### 5. METODOS ANALITICOS

Las concentraciones de rubidio y estroncio en rocas y minerales pueden ser medidas de varias formas, STRASSMAN y WALLING (1938) y STEVENS y SCHALLER (1942) usaron métodos gravimétricos. AHRENS (1949) propuso un método espectrográfico óptico. Sin embargo, estas técnicas no eran lo suficientemente precisas y sensibles y fueron reemplazadas por el método de dilución isotópica introducido por TOMLINSON y DAS GUPTA (1953) y ALDRICH y colaboradores (1953). Más recientemente FAIRBAIRN y colaboradores (1967), PETERMAN y colaboradores (1968), KROGH y HURLEY (1968) y POWELL y colaboradores (1969), han utilizado un espectrómetro de fluorescencia de rayos X para determinar dichas concentraciones. La dilución isotópica es la más sensible y precisa de las técnicas válidas, principalmente porque está libre de las interferencias de otros elementos; sin embargo, este método está dejando paso en la actualidad al de fluorescencia de rayos X para medir las concentraciones de rubidio y estroncio en la datación de rocas y minerales por el método de las isocronas Rb-Sr.

Para determinar la concentración de un elemento por dilución isotópica, este elemento debe tener, en general, dos isótopos estables. Además ha de ser factible obtener una muestra del elemento (trazador=spike) en el que uno de los isótopos estables haya sido incrementado abundantemente. En general, un peso (o volumen) conocido de una disolución acuosa, que contenga una cantidad conocida de trazador cuya composición isotópica se sabe, es añadida a un peso conocido de muestra porfirizada. Esta muestra es atacada con una mezcla de ácido fluorhídrico y sulfúrico o perclórico. El residuo se disuelve en ácido clorhídrico. Durante el ataque de la muestra y disolución del residuo, el trazador y el elemento normal en la muestra, se llegan a mezclar íntimamente. La composición isotópica del elemento en la muestra será entonces intermedia entre la del trazador y la del elemento normal en la misma. Para análisis isotópicos del rubidio, el trazador se enriquece en  $^{87}\text{Rb}$ . En el caso del estroncio pueden usarse trazadores enriquecidos en  $^{84}\text{Sr}$  o  $^{86}\text{Sr}$ .



El método de dilución isotópica descrito anteriormente se puede ilustrar con la figura 3 que muestra los espectrogramas del rubidio normal (a), trazador de rubidio enriquecido en  $^{87}\text{Rb}$  (b) y mezcla de rubidio normal y trazador de rubidio (c), preparados con objeto de determinar el rubidio contenido en una roca.

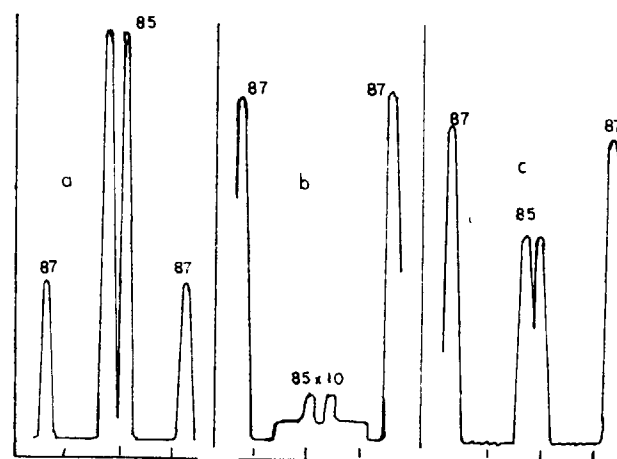


Figura 3

Una vez que la muestra ha sido disuelta y equilibrados los isótopos, se separan el rubidio y el estroncio, ellos mismos y de otros cationes, pasando la solución a través de una columna, generalmente de cuarzo, rellena de resinas de intercambio de cationes, que se eluye después con ácido clorhídrico diluido. No se requiere una recuperación cuantitativa del elemento en la columna de intercambio iónico, ya que en los cálculos se utilizan relaciones de isótopos. Una vez que el trazador y el elemento normal en la muestra se han mezclado completamente, una fracción de esta mezcla puede ser analizada en un adecuado espectrómetro de masas. Se puede calcular la concentración del elemento en la muestra a partir de la composición isotópica de la mezcla, y los cálculos necesarios para ello han sido descritos por HAMILTON (1965) y WEBSTER (1960) con bastante detalle.

Las determinaciones de edad por el método Rb-Sr requieren también una medida de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de la roca o mineral que sólo puede hacerse con un espectrómetro de masas que posea una fuente iónica adecuada.

El I. G. M. E. ha adquirido recientemente un espectrómetro de masas adecuado para este fin, mo-

delo TH5 SS106TH de la firma Varian Mat (Bremen).

Un espectrómetro de masas es un instrumento que, en su fuente de ionización, produce iones, los cuales son extraídos de la misma aplicando un voltaje de aceleración, sometidos a un campo magnético para separar sus diversos isótopos, que, recogidos en un sistema adecuado, dará una medida proporcional a la cantidad que de ellos exista.

Los iones son acelerados al nivel de la fuente por una tensión de aceleración  $V$  y focalizados, por medio de una serie de lentes sometidas a tensiones decrecientes, en un punto en el cual toda la energía potencial de los iones se transforma en energía cinética de los mismos, por lo tanto se puede escribir:

$$qV = \frac{1}{2} m v^2 \quad [\text{V.1}] \quad \text{de donde } v = \sqrt{\frac{2 q V}{m}} \quad [\text{V.2}]$$

Por otra parte la fuerza centrífuga de esos iones será:

$$F = \frac{m v^2}{r} \quad [\text{V.3}]$$

fuerza que se equilibra con otra centrípeta de la misma magnitud, al quedar sometido el ión a los efectos producidos sobre él por el campo magnético creado por un imán.

Dicha fuerza será:

$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

pero como la dirección del campo magnético es normal al plano de la trayectoria, se podrá escribir:

$$F = q v B \quad [\text{V.5}]$$

Igualando las fórmulas [V.3] y [V.4] y despejando  $r$  se obtiene:

$$\frac{m v^2}{r} = q v B \quad r = \frac{m v}{q B} \quad [\text{V.5}]$$

donde:

$r$ =radio de curvatura de la trayectoria.

$m$ =masa del ión.

$v$ =velocidad (ligada a la tensión de aceleración).

$q$ =carga del ión.

$B$ =intensidad de campo magnético.

Si ahora sustituimos el valor de  $v$  [V.2] en [V.5] queda:

$$r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2 m V}{q}} \quad [\text{V.6}]$$

como expresión del radio de curvatura en el sistema CGS.

Si se pone  $m=M/N$  donde  $N$  es el número de Avogrado  $=6,023 \times 10^{23}$  y  $M$  es la masa atómica del ión, y  $q=ne$  donde  $e$  es la carga unitaria  $=1,6 \times 10^{-19}$  culombios.

La fórmula [V.6] se puede escribir en la forma

$$r = \frac{144}{B} \sqrt{\frac{M V}{n}}$$

y si el ión es monocargado se tiene:

$$r = \frac{144}{B} \sqrt{M V}$$

de donde:

$$M = \frac{B^2 r^2}{144^2 V}$$

$r$ =en cm.

$B$ =en Gauss.

$M$ =masa atómica.

$V$ =en voltios.

De la expresión [V.7] se deduce que  $M$  es función de tres parámetros, existiendo por consiguiente tres posibilidades de análisis.

a)  $B$  y  $V$  constantes  $M \sim r^2$ .

En ello se fundamentan los espectrómetros de detección de placa fotográfica y los de colección múltiple sobre detectores colocados a lo largo de la focal.

b)  $r$  y  $B$  constantes  $M \sim 1/V$ .

En ello se fundamentan los espectrómetros que barren variando la alta tensión y con sistema de detección eléctrico.

c)  $r$  y  $V$  constantes  $M \sim B^2$ .

En ello se fundamentan los espectrómetros de barrido magnético y detección eléctrica. A este úl-

timo tipo pertenece el adquirido por el I. G. M. E. El barrido magnético es controlado y ajustado mediante una célula Hall. La detección se hace, bien mediante un multiplicador de electrones o bien mediante un colector de Faraday. Ambos se pueden cambiar muy rápidamente uno por otro de acuerdo con la sensibilidad de la medida o variación de la corriente iónica. En la figura 4 se representa un esquema general del espectrómetro de masas con su sistema de vacío, y en la figura 5 se representa un esquema de su sistema analizador.

## 6. PREPARACION DE MUESTRAS POR EL METODO Rb-Sr.

En el estudio de un problema o suceso geológico, el número de muestras representativas que se deben tomar, depende de la complejidad de tal problema, y en gran parte de los laboratorios se toman un mínimo de seis muestras por caso a estudiar. En cuanto a la cantidad de muestra a tomar, es variable de unos laboratorios a otros, y puede llegar desde unos pocos kilogramos a 50 kilogramos, admitiéndose en general que un mínimo de 25 kilogramos de rocas es el adecuado.

Uno de los problemas que más falsean los resultados es el de la contaminación, que a toda costa debemos evitar. Para ello, en la preparación de las mismas no debemos de dar un paso sin estar seguros de que el anterior se ha efectuado con plena corrección.

Una vez recibidas, las muestras son trituradas, molidas y porfirizadas; homogeneizadas adecuadamente y cuarteadas de tal modo que la totalidad de la muestra quede reducida a 200 gramos aproximadamente, representativos de la misma. Parte de ellos se destinará a medir las concentraciones de rubidio y estroncio, bien por fluorescencia de rayos X o por dilución isotópica, y otra parte será atacada en la forma anteriormente reseñada. Se separa el estroncio y el rubidio entre sí y de otros elementos por cromatografía de intercambio de cationes y se pone el elemento cuyos isótopos se quieren separar en un filamento de renio, dentro de la fuente iónica del espectrómetro de masas.

El estroncio es ionizado por termoionización, y sus cationes recorrerán el analizador para ser separados en sus isótopos que, recogidos en el colector, proporcionarán el espectrograma por medio de un registrador. Cada pico de este espectrograma co-



DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA DE VACIO

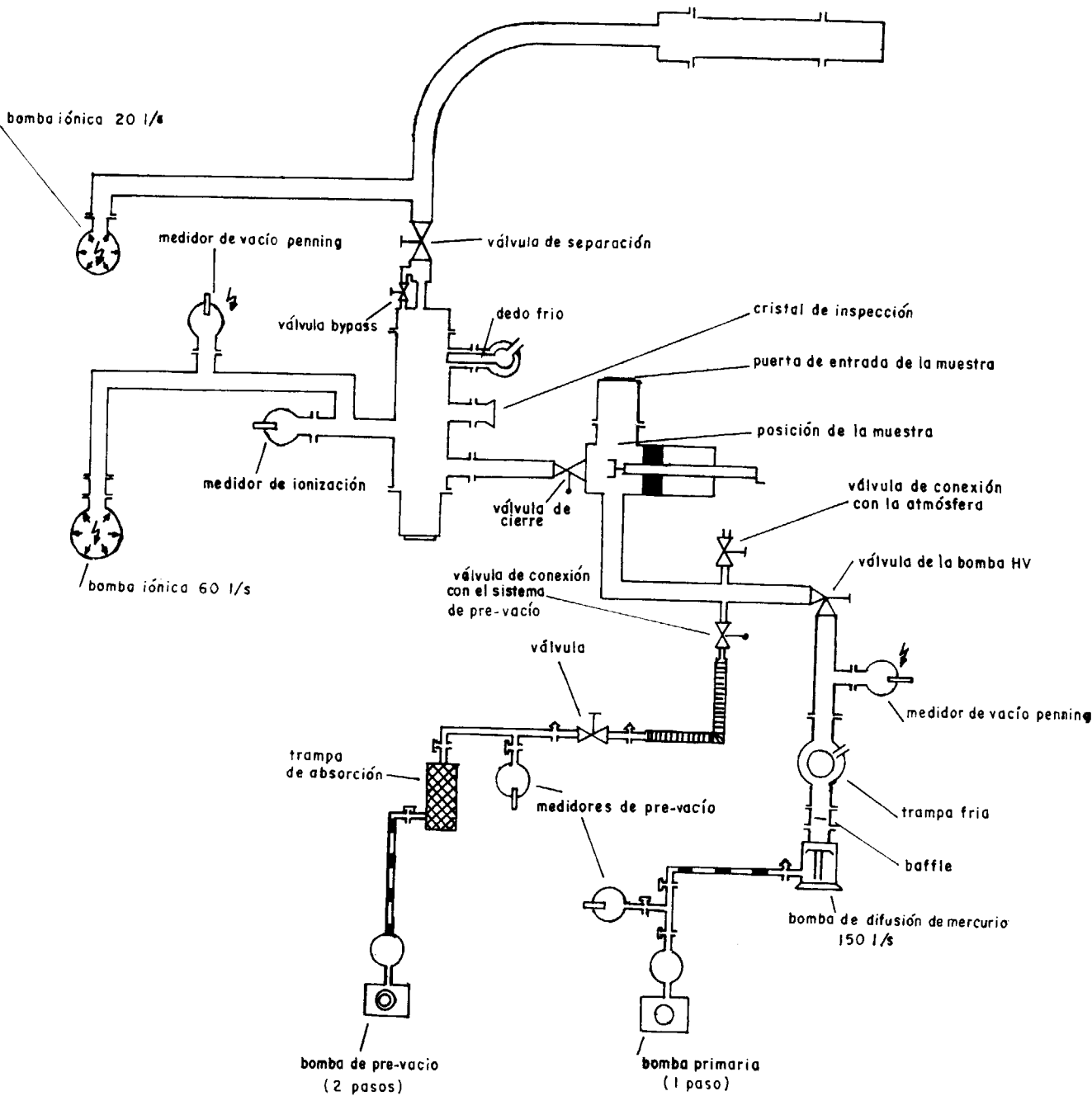


Figura 4

DIAGRAMA FUNCIONAL DEL SISTEMA ANALIZADOR

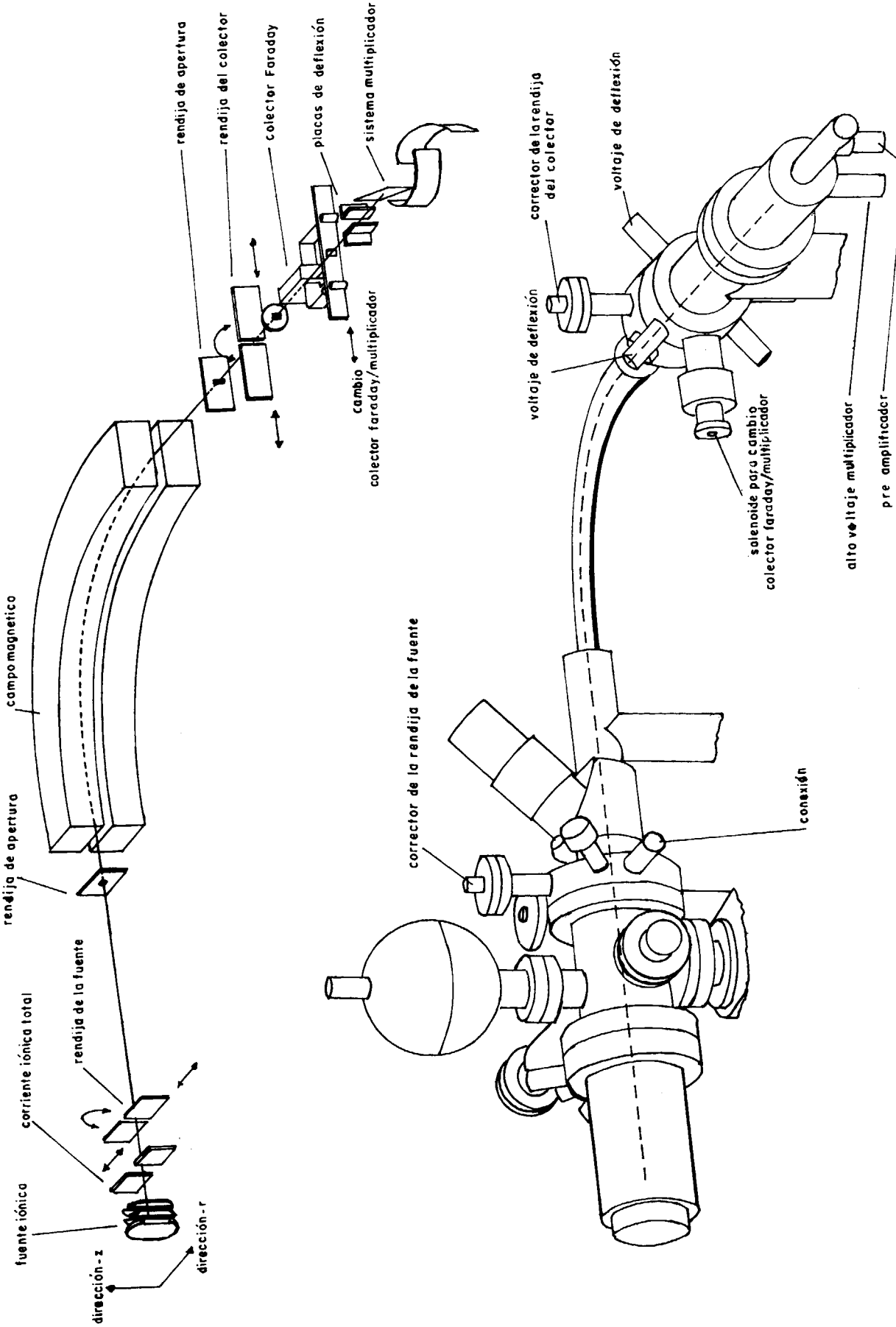


Figura 5



responde a un isótopo, y el área de aquél es proporcional a la abundancia de éste.

Hay que hacer notar que en la interpretación de las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en materiales geológicos existe la posibilidad de que los isótopos de estroncio puedan haber sido fraccionados por procesos geológicos, tales como fusión parcial de los silicatos de las rocas, cristalización del magma, difusión, etc. No existe una confirmación muy clara de que los isótopos de estroncio se fraccionen en la naturaleza, por lo que una razón posible para su explicación es que los isótopos de estroncio se fraccionen en el espectrómetro de masas, lo que se superpondría al fraccionamiento natural y le ocultaría.

Con objeto de reducir estos efectos en la medida de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , se hace una corrección en los análisis, que fue primeramente utilizada por HERZOG y colaboradores (1958) y posteriormente por FAURE y HURLEY (1963). Dicha corrección está basada en la suposición de que la relación  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  es igual a 0,1194 y que el fraccionamiento de dos isótopos es proporcional a la diferencia de sus masas. Consecuentemente la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  se ajustará de tal forma que la relación  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  medida alcance el valor de 0,1194. El factor de corrección  $f$  por el que se debe multiplicar la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  medida es:

$$f = \frac{M}{M + 0,1194} = \frac{2M}{M + 0,1194} \quad [\text{VI.1}]$$

donde  $M$  es la relación  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$  medida.

La incertidumbre analítica de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , corregida para el fraccionamiento es  $\pm 0,1\%$  o mejor. La relación  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  de rocas o minerales tiene incertidumbres analíticas de alrededor del 2 por 100 generalmente, pero puede ser mayor o menor, dependiendo de las concentraciones absolutas de rubidio y estroncio.

## 7. UTILIZACION DE LOS ISOTOPOS DE ESTRONCIO EN PETROGENESIS

La composición isotópica del estroncio no sólo es útil como indicadora de las edades de rocas y minerales, sino que también contiene información sobre el origen de las rocas ígneas y procesos geológicos que pueden haber afectado a su composición química. Hemos visto anteriormente que el método

de representación de las isocronas Rb-Sr proporcionaba la determinación de la edad de una serie de rocas ígneas comagmáticas y además indicaba la "relación inicial" que es la razón  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  del magma a partir del cual cristalizaron las rocas; su valor depende de la historia previa del estroncio y refleja particularmente la relación Rb-Sr de los sistemas en los que el estroncio ha residido anteriormente. En general, no hay modo de conocer en cuantos sistemas ha residido previamente el estroncio, cuál era la relación Rb/Sr en esos sistemas, o cuánto tiempo estuvo el estroncio en cada sistema, ya que rigurosamente, sólo podemos tratar de procesos que se hayan realizado en una sola etapa, suponiendo que el estroncio formaba parte de solamente un sistema previo, para un período de tiempo específico y siendo incorporado a un magma particular. Estas suposiciones simplifican indudablemente la situación real y en la mayoría de los casos arrojan luz sobre el origen de las rocas ígneas.

Una de las cuestiones más importantes en petrografía es saber si el magma ha sido generado en el manto de la tierra exclusivamente o si ciertas clases de magmas se originaron totalmente o en parte dentro de la corteza terrestre. Si la generación del magma puede tener lugar en ambos sitios, ¿podemos determinar en qué lugar se ha formado un magma particular? Vamos a ver que el  $^{87}\text{Sr}$  puede utilizarse como un trazador geológico para identificar las fuentes del magma, pero antes aclararemos, que el manto de la tierra se extiende desde la discontinuidad de Mohorovicic hasta una profundidad de 600 km por debajo de la superficie de la tierra, y que las fusiones que tienen lugar en esta región y la posterior migración del magma resultante, han contribuido a la formación de la corteza terrestre a través de los tiempos geológicos. La corteza terrestre incluye las rocas que se extienden sobre la discontinuidad de Mohorovicic en los continentes. Se distingue de la corteza oceánica por su composición química media, por la edad de sus rocas y por su mayor espesor.

Se sabe que las rocas que forman el manto de la tierra están compuestas principalmente de silicatos de hierro y magnesio. Comparadas con el manto, las rocas de la corteza terrestre están enriquecidas en sílice, alúmina y metales alcalinos. Teniendo en cuenta las propiedades geoquímicas del rubidio y del estroncio, las rocas de la corteza terrestre estarán enriquecidas en rubidio y por consiguiente tienen una razón Rb/Sr más alta que las rocas del

manto. Consecuentemente el estroncio de las rocas de la corteza terrestre se habrá enriquecido en  $^{87}\text{Sr}$  radiogénico, con el paso del tiempo, si se compara con el estroncio de las rocas del manto. Por consiguiente, es razonable decir que la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de las rocas de la corteza de la tierra es considerablemente más alta que la de las rocas del manto.

La composición isotópica del estroncio en el manto puede ser medida directamente por análisis de rocas basálticas extraídas de las cuencas oceánicas o de los continentes, suponiendo que cumplen las siguientes condiciones:

1. El magma se generó en el manto.
2. El estroncio del magma no ha sido contaminado con estroncio extraño, procedente de otra fuente.
3. El estroncio del magma es isotópicamente idéntico al del manto sólido a partir del cual el magma se generó.

Se admite que la primera condición se cumple por las rocas volcánicas oceánicas. La segunda ha de ser evaluada en cada caso y no admite generalizaciones. La tercera condición implica la suposición de que los isótopos del estroncio no se han fraccionado por las fusiones de rocas en el manto, por reacciones químicas subsecuentes o por cristalización de minerales a partir del magma. No existe evidencia alguna de que los isótopos del estroncio se fraccionen en la naturaleza y por consiguiente tal fraccionamiento se considera despreciable. Los isótopos del estroncio únicamente se pueden fraccionar en el espectrómetro de masas y para tal efecto, se toman las medidas necesarias en las técnicas analíticas y en los cálculos.

La relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de los basaltos de las islas oceánicas, oscila entre 0,702 y 0,706 con una media de 0,7037. Los análisis del estroncio en meteoritos (acondritas basálticas) pueden utilizarse para deducir que la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de la tierra hace cuatro mil seiscientos millones de años, tiene un valor de 0,699.

Utilizando la ecuación

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \cong \left( \frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_0 + \frac{\text{Rb}}{\text{Sr}} K \lambda t \quad [\text{VII.1}]$$

obtenida a partir de la [III.6], desarrollando en serie  $e^{\lambda t}$  y teniendo en cuenta que  $\lambda t$  es muy pequeño por serlo  $\lambda$  y sustituyendo en ella  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,7037$ ,

$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0=0,699$  y  $t=4,6 \times 10^9$  años, encontramos para la relación Rb/Sr media del magma perteneciente al manto que dio lugar a los basaltos de las islas oceánicas, un valor de 0,025.

La media  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y la relación Rb/Sr de las rocas de la corteza terrestre es más difícil de determinar. Sabemos que las rocas que forman los continentes tienen una gran variedad de composiciones químicas y mineralógicas, y sus edades oscilan entre límites amplios. Muchos investigadores han intentado medir la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  media de la corteza terrestre analizando estroncio en agua o en conchas de moluscos de lagos y ríos que drenan grandes áreas de los continentes. Los valores medios se recogen en la tabla II.

Lagos y ríos, escudo precámbrico Canadiense ... ..	0,712 — 0,726
Lago Superior, América del Norte ... ..	0,718
Lago Vanda, Valle Wright ... ..	0,7149
Parte meridional del área Victoria, Lago Ronney Antártico, Valle Taylor ... ..	0,7136
Parte meridional del área Victoria, Lago George Antártico, alrededores de Killamey ... ..	0,7184
Ontario, Gran Lago Salado de Canadá, Utah, USA ... ..	0,7174

Estos valores demuestran que las relaciones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  del estroncio liberado a partir de rocas ígneas y metamórficas antiguas son apreciablemente más altas que las de los basaltos oceánicos recientes. Sin embargo, es obvio, que la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de la corteza terrestre es bastante variable y depende de la relación Rb/Sr y de las edades de las rocas extraídas en las cuencas de drenaje que han sido estudiadas.

Para el propósito de esta discusión, es suficiente calcular una relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  media aproximada para las rocas siálicas de la corteza terrestre por una simple deducción, análoga a la que anteriormente se ha hecho para el manto. Se puede suponer que la edad media de las rocas siálicas de la corteza terrestre es de dos mil quinientos millones de años y que el estroncio que contienen procede del manto al tiempo de formación de estas rocas. De acuerdo con este modelo para la evolución del estroncio, la media  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  del manto era 0,701. La recopilación de elementos traza concentrados en



las rocas, por TAYLOR (1965) dieron un valor estimado para la relación Rb/Sr de la corteza de 0,24. Se prefiere un valor más bajo, de 0,18, porque es más representativo de las rocas extraídas del escudo precámbrico de América del Norte y de otros. Utilizando la ecuación [VII.1] y poniendo:

$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_0 = 0,701, \frac{\text{Rb}}{\text{Sr}} = 0,18 \text{ y } t = 2,5 \cdot 10^8 \text{ años}$$

se obtiene un valor de 0,719 para la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  media del estroncio en la corteza terrestre. Este valor es similar con el obtenido para la composición isotópica del estroncio del agua que existe sobre la superficie de los continentes reflejado en la tabla II.

La evolución isotópica del estroncio en el manto y en la corteza terrestre se representa en la figura 6, que sirve como base para la interpretación de la relación inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de las rocas ígneas.

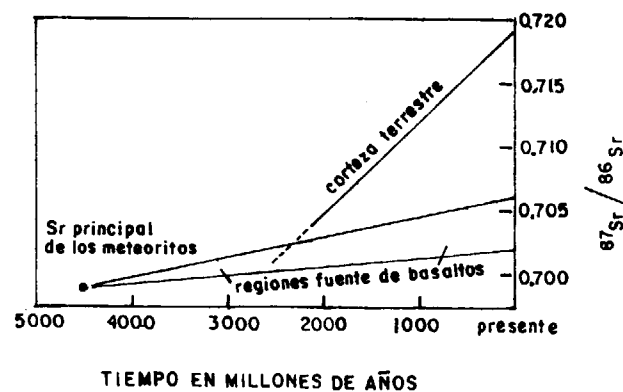


Figura 6

Cuando un magma se genera en el manto y solidifica en la corteza o sobre la superficie de la tierra, sin que sea contaminado por estroncio extraño, las rocas resultantes tendrán una relación inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  que cae dentro del "campo de basaltos" trazado en la figura anterior. Por otro lado, cuando un magma se genera por fusión parcial de rocas graníticas viejas en la corteza terrestre, las rocas formadas a partir de él, tendrán una relación inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  significativamente más alta que la de las regiones basálticas. Esta relación es diez veces mayor, en ciertos casos, que la anterior, y sirve para desenmascarar el origen de las rocas.

Un problema importante en petrología es el debido al proceso por el que un magma puede cristalizar para producir una serie de rocas de diferente composición química. Tradicionalmente, los petrólogos han explicado la diferenciación del magma apelando a la cristalización fraccionada.

Cuando un magma sufre una cristalización fraccionada en un sistema cerrado, esto es, sin incorporación de estroncio extraño a partir de las rocas que le rodean, todas las rocas resultantes tendrán la misma relación inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , prescindiendo de sus composiciones químicas. Por otra parte, si el estroncio extraño entra en el magma cuando la cristalización progresa, las rocas formadas en diferentes etapas del proceso de cristalización, tendrán diferentes relaciones iniciales  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Muchos ejemplos de este fenómeno, han venido a aclarar que la diferenciación química de algunas series de rocas volcánicas es debida no sólo a una cristalización fraccionada del magma del cual proceden, sino también a una serie de interacciones entre el magma y las rocas que le rodean.

## 8. LAS ROCAS SEDIMENTARIAS Y LOS OCEANOS

El interés por la composición isotópica del estroncio en rocas sedimentarias crece rapidísimamente. Los estudios más recientes se dirigen a la datación de rocas sedimentarias arcillosas y a la variación de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de los océanos en el pasado geológico. Se han realizado muchos progresos pero quedan aún importantes problemas por resolver.

El estroncio que forma parte de los océanos tiene su origen en los limos marinos que sufrieron una diagénesis y una erosión química sobre los continentes. Su concentración media es alrededor de 8 mg/l siendo uno de los elementos traza más abundantes. El estroncio se elimina de los océanos por coprecipitación de los iones  $\text{Sr}^{2+}$  con carbonato cálcico principalmente. La concentración del estroncio en el carbonato cálcico depende de la forma mineralógica de la fase que precipita, de la relación molar de  $\text{Sr}^{2+}$  a  $\text{Ca}^{2+}$  en el agua, de la temperatura, y de una serie de factores, como por ejemplo la composición y concentración de las sales disueltas y los efectos biológicos. La relación molar de  $\text{Sr}^{2+}$  a  $\text{Ca}^{2+}$  en la fase sólida está relacionada con la de la fase líquida

da por el coeficiente de distribución  $K$  según la expresión:

$$K = \frac{(\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+})^m \text{ sólido}}{(\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+})^m \text{ líquido}}$$

La variación del coeficiente de distribución con la temperatura se muestra en la figura 7, que está basada en los datos publicados por KINSMAN (1969). De ello se deduce que el aragonito concentra  $\text{Sr}^{2+}$  a temperaturas más bajas de  $50^\circ\text{C}$ , mientras que la calcita lo discrimina a todas las temperaturas. Consecuentemente, la precipitación de la calcita tenderá a incrementar la relación Sr/Ca de los océanos, mientras que la precipitación del aragonito a bajas temperaturas la decrecerá. Es posible que la relación Sr/Ca de los océanos haya variado en el pasado geológico, dependiendo, al menos en parte, de la mineralogía de los esqueletos carbonatados y del carbonato cálcico precipitado inorgánicamente.

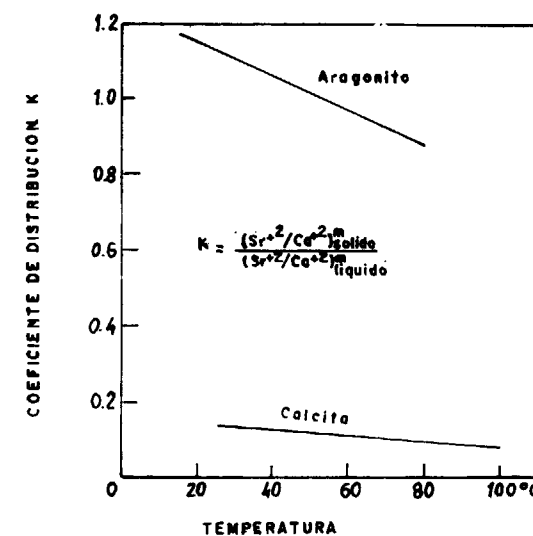


Figura 7

La composición isotópica actual del estroncio de los océanos ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7093 \pm 0,0005$ ) puede ser considerada como una mezcla de las diferentes variedades isotópicas del estroncio, derivado de la erosión de rocas volcánicas jóvenes ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,704$ ), de rocas marinas carbonatadas ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,708$ ), de rocas graníticas viejas así como de rocas sedimentarias derivadas de ellas ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,715$ ). Es obvio que estas fuentes han contribuido en proporciones variables al estroncio total contenido en los océa-

nos a través de los tiempos geológicos y por tanto es posible que la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  en los océanos haya variado en el pasado; posibilidad que fue confirmada por PETERMAN, HEDGE y TOURTELOT (1970), quienes demostraron que importantes cambios en la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ocurrieron en el Fanerozoico. La figura 8 ilustra los resultados que obtuvieron.

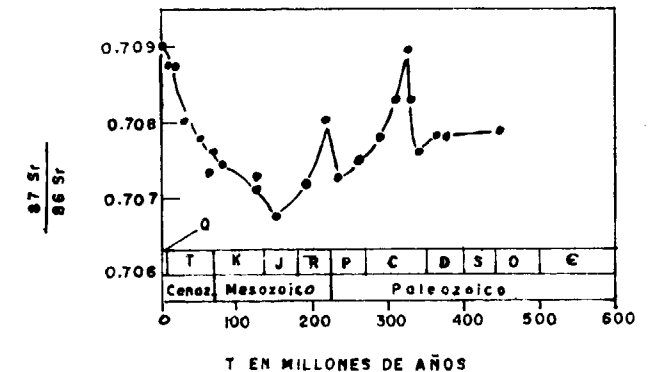


Figura 8

La conclusión más importante que de ella se puede sacar es que la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  fue mucho más baja durante el mesozoico que ahora, posiblemente debido a la más alta contribución del estroncio proveniente de las rocas volcánicas jóvenes existentes en aquel momento, y que durante el Fanerozoico, el estroncio de los océanos se homogeneizó isotópicamente, incluso en aquellas cuencas cuya integración con los océanos abiertos había sido restringida.

Mientras que el estroncio de los océanos es isotópicamente homogéneo, el estroncio de los sedimentos marinos no carbonatados tiene una composición isotópica variable y no se equilibra con el estroncio del agua, tal como ha sido demostrado por DASCH en varias ocasiones.

Entre las rocas sedimentarias hemos de distinguir dos tipos en cuanto a su origen: a) rocas sedimentarias de precipitación, b) rocas sedimentarias detríticas.

La roca sedimentaria más datada entre las evaporitas marinas ha sido la silvita (KCl), no siendo los resultados obtenidos por los métodos K—Ar y K—Ca muy concordantes. Se ha sugerido la utilización del método Rb—Sr de las isocronas para la datación de estas rocas, pero aún no ha sido estudiado con la intensidad y el rigor necesarios.



Hemos visto anteriormente las condiciones que ha de reunir una roca para que pueda ser datada por el método Rb—Sr. Es fácil que las rocas que cristalizan a partir de un magma las cumplan, pero parece poco probable que las rocas sedimentarias detríticas satisfagan todas esas condiciones. Sin embargo, COMPSTON y PIDGEON (1962) y HURLEY y WHITNEY (1964), descubrieron independientemente, que, muestras del Paleozoico, daban lugar a unas líneas rectas muy buenas sobre el diagrama de las isocronas, y los datos calculados a partir de ellas estaban de acuerdo con las edades conocidas de las rocas. Aparentemente, el estroncio de rocas sedimentarias detríticas de grano fino pudo llegar a ser isotópicamente homogéneo en algún momento de la historia de las rocas y a cerrarse a la entrada o salida del rubidio y del estroncio, satisfaciendo así las condiciones para ser datadas por el método Rb—Sr. Siguiendo esta idea, se han obtenido muchas isocronas de rocas sedimentarias y se están publicando continuamente determinaciones de edades nuevas.

Una discusión de la composición isotópica del estroncio en rocas sedimentarias no se completa sin hacer alguna referencia al mineral glauconita. La glauconita es una mica que contiene potasio, hierro, aluminio y magnesio como componentes principales, con un exceso de agua, y se cree que es un mineral autigénico. Se presenta como conjunto de pequeños pellets verdes formados por agregados de cristales extremadamente pequeños, de alrededor de 1  $\mu$  de tamaño.

El problema para datar la glauconita por el método K—Ar es que no es un "sistema cerrado", en cambio contiene un tanto por ciento adecuado de potasio y menos de un uno por ciento de calcio. Consecuentemente, de ello se puede esperar que la glauconita también haya concentrado rubidio, y excluya el estroncio, haciéndola adecuada para ser datada por el método Rb—Sr.

Es difícil asegurar la retención del  $^{87}\text{Sr}$  en la glauconita, debido a que el tiempo de deposición de las rocas sedimentarias en las que existe el mineral no está suficientemente bien definido por otros métodos de datación.

En general, los datos Rb—Sr y K—Ar de la glauconita, tienden a menospreciar la edad de la deposición de las rocas sedimentarias, pero la aproxima en casos en que la glauconita no haya vuelto a cristalizar como resultado de un recubrimiento profundo, una deformación tectónica o un metamorfismo. No se ha dado ninguna edad Rb—Sr de la glauco-

nita que exceda claramente la edad de deposición del sedimento. Esto sugiere que el  $^{87}\text{Sr}$  radiogénico heredado y por consiguiente en exceso, no será ningún problema, aunque tales casos podrían concebirse, ser debidos también a la redeposición de glauconita derivada de rocas más viejas.

#### 9. HOMOGENEIZACIÓN ISOTÓPICA DEL ESTRONCIO EN SISTEMAS ABIERTOS. INFLUENCIA DE LOS PROCESOS METAMÓRFICOS EN LA VARIACIÓN DE LA RELACIÓN Rb—Sr.

Hemos visto anteriormente que uno de los requisitos necesarios para datar rocas o minerales por el método Rb—Sr, es que las concentraciones de rubidio y de estroncio, así como la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  deben cambiar sólo como resultado de la transformación de  $^{87}\text{Rb}$  a  $^{87}\text{Sr}$ . Cuando esta condición no se satisface, entonces los datos calculados por la fórmula [III.6] no indican la edad de la roca, pero pueden indicar en cambio el fin de un proceso de alteración que perturbe el esquema de transformación Rb—Sr.

La interpretación de datos obtenidos de rocas y minerales que han sido alterados es complicada por varias razones. Primero, porque aquí no hay evidencia mineralógica o textural que advierta al geocronólogo de que la roca ígnea, o alguno de sus minerales, que se está analizando para determinar su edad, haya sido alterado. Segundo, la perturbación del esquema de transformación  $^{87}\text{Rb}$ — $^{87}\text{Sr}$ , puede afectar sólo a los minerales, mientras que la roca total puede permanecer durante todo el proceso como sistema cerrado. La alteración de los esquemas de transformación en los minerales de una roca, generalmente da lugar a resultados discordantes que carecen de significado geológico. Sin embargo, la discordancia de los minerales datados es un criterio para identificar las rocas que han sido alteradas.

Normalmente no es posible identificar el mecanismo específico, responsable de que las rocas o minerales no constituyan un sistema cerrado, y no puede ser debido más que al intercambio de  $^{87}\text{Sr}$  radiogénico con otros isótopos por difusión a través de la red del cristal en la que se ha formado, o al metasomatismo que da lugar a la ganancia o pérdida del rubidio y/o del estroncio por los minerales o por la roca total. Afortunadamente, en muchos casos es posible interpretar los esquemas

de transformación  $^{87}\text{Rb}$ — $^{87}\text{Sr}$  en rocas y minerales alterados sin conocer exactamente la causa de la alteración.

Los procesos geológicos que pueden afectar a los esquemas de transformación  $^{87}\text{Rb}$ — $^{87}\text{Sr}$  de rocas y minerales incluyen: los metamorfismos de contacto y regional, la erosión química y las acciones de los fluidos hidrotermales.

El factor dominante que termina la extensión en que el esquema de transformación  $^{87}\text{Rb}$ — $^{87}\text{Sr}$  cambiará, cuando exista un metamorfismo de contacto o regional, es la temperatura. Se han hecho estudios en los laboratorios, con objeto de ver la respuesta de los minerales a la variación de la temperatura y la migración del rubidio y el estroncio, pero los resultados no han sido todo lo satisfactorios que se esperaban. Afortunadamente hay otra forma para estudiar tal migración, proporcionada por las rocas de las aureolas formadas cerca del contacto meta-

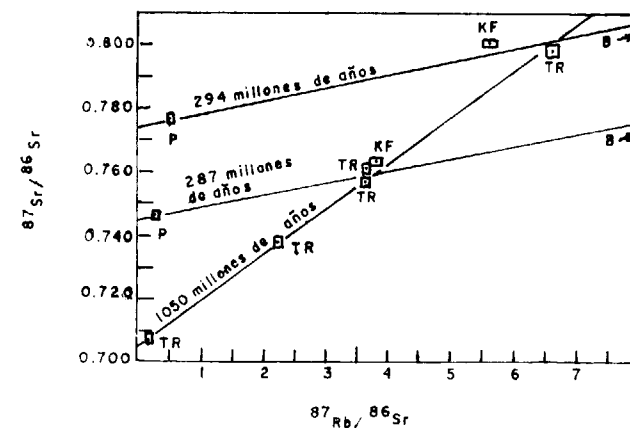


Figura 9

mórfico, que permiten investigar la pérdida de los hijos radiogénicos de una serie de minerales cuyas reacciones alcanzaron el equilibrio con el paso de los tiempos geológicos. El historial térmico de los mismos puede seguirse en el laboratorio con los modelos adecuados y sirve de complemento al estudio realizado en el campo.

Normalmente, un sistema afectado por un metamorfismo, quedará cerrado para la roca total y abierto para los minerales, de aquí que la roca total se utilice para determinar la edad de la roca y los minerales para calcular la edad a partir de la cual se convirtieron en sistema cerrado. La figura 9 representa un ejemplo típico de ello.

Se han realizado varios estudios para determinar la influencia que tiene la erosión química en la variación del rubidio y el estroncio contenido en rocas o minerales sometidos a ella, que han demostrado que la relación Rb/Sr de las mismas aumenta por pérdida de Sr y correspondiente aumento de la concentración de rubidio, obteniéndose como consecuencia de ello edades más bajas que las de rocas o minerales frescos, es decir, sin que hayan estado sometidos a la misma erosión química. La razón de ello es que iones  $\text{Rb}^+$  pueden sustituir en el mineral a iones  $\text{K}^+$ , mientras que el  $^{87}\text{Sr}$  radiogénico puede ser sustituido por otros isótopos de estroncio y eliminado del mismo.

La acción de los fluidos hidrotermales sobre las rocas y minerales, puede producir cambios tan profundos como los de los fenómenos geológicos reseñados anteriormente, en la composición isotópica de su estroncio. Su alcance no se conoce muy bien y se están realizando estudios que lleven a su aclaración.

#### BIBLIOGRAFIA

- AHRENS, L.: *Measuring geologic time by the strontium method*. "Geol. Soc. Am. Bull.", 60, 217-264 (1949).
- ALDRICH, L. T.; DOAK, J. B., y DAVIS, G. L.: *The use of ion exchange columns in mineral analysis for age determination*. "Am. Sci.", 251, 377-387 (1953).
- ALDRICH, L. T.; HERGOZ, L. F.; DOAK, J. B., y DAVIS, G. L.: *Variations in strontium abundances in minerals. Part I: Mass spectrometric analysis of mineral sources of strontium*. "Trans. Am. Geophys.", Union 34, 457-460 (1953).
- ALDRICH, L. T.; WETHERILL, G. W.; TILTON, G. R., y DAVIS, G. L.: *The half life of  $^{87}\text{Rb}$* . "Phys. Rev.", 104, 1.045-1.048 (1956).
- CAMPBELL, N. R. y WOOD, A.: *The radioactivity of the alkali metals*. "Proc. Cambridge Phil. Soc.", 145, 15-21 (1906).
- COMPSTON, W. y PIDGEON, R. T.: *Rubidium-Strontium dating of shales by the total-rock method*. "J. Geophys. Res.", 67, 3493-3502 (1962).
- FAIRBAIRN, H. W.; HURLEY, P. M.; CARD, K. D., y KNIGHT, C. J.: *Correlation of radiometric ages of Nipissing diabase and Huronian metasediments with Proterozoic orogenic events in Ontario*. "Can. J. Earth Sci.", 6, 489-497 (1969).



- FAURE, G. y HURLEY, P. M.: *The isotopic composition of strontium in oceanic and continental basalt: Application to the origin of igneous rocks*. "J. Petrol.", 4, 31-50 (1963).
- FLYNN, K. F. y GLENDENIN, L. E.: *Half-life and beta spectrum of Rb<sup>87</sup>*. "Phys. Rev.", 116, 744-748 (1959).
- GEESSE-BÄHNISCH, I. y HOSTER, E.: *Neubestimmung der Halbwertszeit des Rb<sup>87</sup>*. "Naturwissenschaften", 41, 495 (1954).
- GOLDSCHMIDT, V. M.: *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente*. IX Diemengenverhältnisse der Elemente und der Atom-Arten: Skrifter Norske Videnskaps-Akad. Oslo I: Mat. - Naturv. Kl. IV, N. F. L., No. 4 (1937).
- HANN, O.; STRASSMAN, F. y WALLING, E.: *Herstellung Wägbarer Mengen des strontium-isotops 87 als Umwandlungs-produkt des Rubidiums aus einem Kanadischen Glimmer*. "Naturwissenschaften", 25, 189 (1937).
- HAHN, O. y WALLING, E.: *Über die Möglichkeit geologischer Altersbestimmungen rubidiumhaltiger Mineralen und Gesteine*. "Z. Anorg. Allgem. Chem.", 236, 78-82 (1938).
- HAHN, O.; STRASSMAN, F.; MATTAUCH, J., y EWALD, H.: *Geologische Altersbestimmungen mit der strontiummethode*. "Chem. Zeitunf", 67, 55-56 (1943).
- HAMILTON, E. I.: *Applied Geochronology*. New York. Academia Press (1965).
- HEMMENDINGER, A. y SMYTHE, W. R.: *Radioactive isotope of rubidium*: Phys. Rev., 51, 1052-1053 (1939).
- HERZOG, L. F.; PINSON, W. H. y COGMIER, R. F.: *Sediment age determination by Rb/Sr analysis of glauconite*. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull. 42, 717-733 (1958).
- KINSMANS, D. J. J.: *Interpretation of Sr<sup>2+</sup> concentrations in carbonate minerals and rock*. J. Sediment petrol. 39, 486-508 (1969).
- KOVACH, A.: *A redetermination of the half-life of rubidium-87*. Acta Phys. Acad. Sci. Hung. 17, 341-335 (1966).
- MACGREGOR, M. H. y WIEDENBECK, M. L.: *The third forbidden beta spectrum of rubidium-87*. Phys. Rev. 94, 138 (1954).
- MATTAUCH, J.: *Daas Paar Rb<sup>87</sup>-Sr<sup>87</sup> und die Isobarenregel*. Naturwissenschaften 25, 189-191 (1937).
- MATTAUCH, J.: *Atimgewichtsbestimmung mit dem Massenspectrographen*. 2. Anorg. Chem. 236, 209-220 (1938).
- MATTAUCH, J.: *Etabile isotope, ihre Messung und ihre Verwendung*. Angew. Chem., A, No. 2. 37-42 (1947).
- MCINTIRE, G. A.; BROOKS, C.; COMPSTON, W. y TUREK, A.: *The statistical assessment of Rb-Sr isochrons*. J. Geophys. Res. 71, 5459-5468 (1966).
- MCMULLEN, C. C.; FRITZE, K. y TOMLINSON, R. H.: *The half-life of rubidium-87*. Can. J. Phys. 44, 3033-3038 (1966).
- NICOLAYSEN, L. O.: *Graphic interpretation of discordant age measurements of metamorphic rocks*. Ann. N. Y. Acad. Sci. 91, Article 2, 198-206 (1971).
- PETERMAN, Z. E.; HEDGE, C. E. y TOURTELOT, H. A.: *Isotopic composition of strontium in sea water throughout Phanerozoic time*. Geochim. Cosmoch. Acta 34, 105-120 (1970).
- STEVENS, R. E. y SCHALLER, W. T.: *The rare alkalies in micas*. Am Mineral 27, 525-537 (1942).
- STRASSMAN, F. y WALLING, E.: *Die abscheidung des reinen strontium-Isotope 87 aus einen alten rubidium-haltigen Lepidolith und die Halbwertszeit des Rubidiums*: Ber. Deut. Keram. Ges. 71, Abt. B, 1-9 (1938).
- TAYLOR, S. R.: *The application of trace element data to problems in petrology*, pp. 133-214. In: AHRENS, L. A.; PRESS, F.; RUNCORN, S. K. y UREY, C. (eds): *Physics and Chemistry of the Earth*. Oxford: Pergamon Press, Vol. 6 (1965).
- THOMON, J. J.: *Emisión of negative corpuscles by alkali metals*. Phil. Mag. 10, 584-590 (1905).
- TOMLINSON, R. H. y DAS GUPTA, A. K.: *The use of isotope dilution in determination of geologic age of minerals*. Can. J. Chem. 31, 909-914 (1953).
- WEBSTER, R. K.: *Mass spectrometric isotope dilution analysis*. In: *Methods in Geochemistry*. New York-London: Interscience Publ. (1960).
- YORKT, D.: *Least-squares fitting of a straight line*. Can. J. Phys. 44, 1079-1086 (1966).
- YORK, D.: *The best isochron: Earth Planct. Sci. Letters* 2, 479-482 (1967).
- YOUNDEN, W. J.: *Statistica methods for chemists*. New York: John Wiley (1951).

Recibido: Octubre 1977.

## Litoestratigrafía y control estructural de la mineralización antimonífera de la franja calcárea-devónica de Alburquerque (Badajoz)

Por P. GUMIEL MARTINEZ (\*), E. MEDINA FERNANDEZ (\*\*) y J. A. SANTOS GARCIA (\*\*)

### RESUMEN

Se estudian en este trabajo la litoestratigrafía de la franja calcárea-devónica de Alburquerque, así como la tectónica de plegamiento y fracturación.

Se pone de manifiesto que si bien la mineralización antimonífera de "San Antonio" se sitúa preferentemente entre las calizas y los calcosquistos, no existe riguroso control litológico de la misma.

Se han determinado dos fases de deformación. La primera es la más importante, con estructuras orientadas WNW-ESE y con esquistosidad de flujo de plano axial, y la segunda, peor definida, origina pliegues abiertos de dirección NNE-SSW, dando lugar a una tectónica de ejes cruzados.

La mineralización antimonífera de "San Antonio" presenta un claro control estructural. Así mismo en todo el área se resalta la importancia de la fracturación tardihercínica, cuyo representante principal es el gran accidente tectónico de Plasencia.

### ABSTRACT

The lithostratigraphy of the Devonian calcareous band of Alburquerque and the folding and fracturation tectonic is studied in this paper

The stibnite-scheelite "San Antonio" deposit does not present a strict lithological control, although the mineralization is preferently located between the limestones and the calcoschists.

Two tectonic phases have been identified in the area. The first one is the most important with axial trends WNW-ESE and with slaty cleavage of axial plain. The second one is poorly defined and caused folds more open, showing axial trends NNE-SSW in a cross girdle tectonic.

The stibnite-scheelite "San Antonio" deposit shows a clear structural control. It is also remarkable the importance of the late Hercynian age fracturation, whose main exponent is the great tectonic accident of Plasencia.

### 1. INTRODUCCION

La zona estudiada en este trabajo se encuentra situada al NW de la provincia de Badajoz, casi en el límite con la de Cáceres. Está comprendida en las hojas número 726 (Pino de Valencia) y 727 (Alburquerque), del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000. Forma una estrecha banda de dirección NW-SE, que se extiende desde las proximidades de la frontera portuguesa hasta el embalse de la Peña del Aguila. Se ve dislocada por la gran fractura de Plasencia, que produce un cierto giro de los materiales en dirección NE.

(\*) División de Investigaciones mineras del IGME.  
(\*\*) Georena, S. L.

### 2. ANTECEDENTES

La bibliografía existente sobre esta región, es escasa y normalmente son trabajos de carácter muy general.

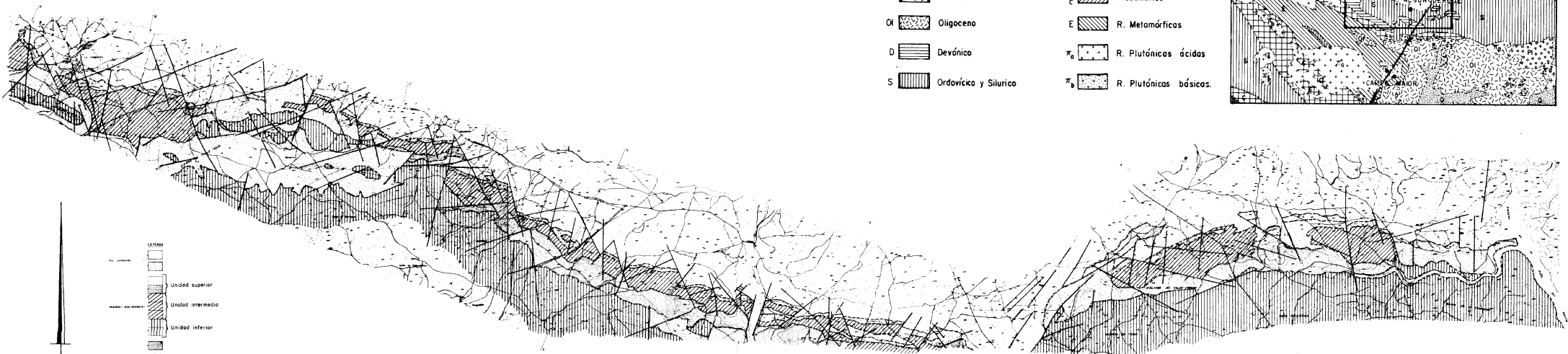
Han sido señalados como Devónicos pequeños manchones situados en los sinclinales silúricos, que hoy aparecen más o menos arrasados (RAMÍREZ, E., 1952).

En las proximidades de Villar del Rey aparece un complejo pizarroso de coloración rojiza, fácil exfoliación y en ocasiones muy ferruginoso, atribuido al Devónico inferior (Gediniense), y cuyo contacto resulta difícil de determinar con exactitud

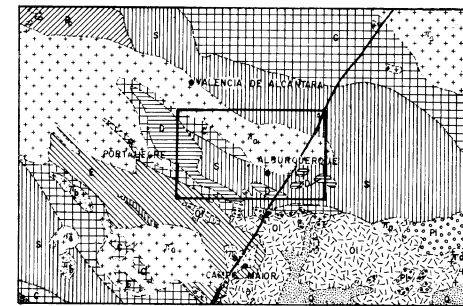








# ESQUEMA REGIONAL



- |     |                       |                |                       |
|-----|-----------------------|----------------|-----------------------|
| Q   | Cuaternario           | C              | Cámbrico              |
| Ph  | Plioceno              | P <sub>c</sub> | Precámbrico           |
| Oli | Oligoceno             | E              | R. Metamórficas       |
| D   | Devónico              | π <sub>a</sub> | R. Plutónicas ácidas  |
| S   | Ordovícico y Silurico | π <sub>b</sub> | R. Plutónicas básicas |

## CARTOGRAFIA GEOLOGICA DE LA FRANJA CALCAREA DEVONICA (ALBUQUERQUE)

Fig - 2





El límite septentrional se encuentra en contacto con los materiales graníticos del batolito de Alburquerque, dando lugar a una estrecha banda de pizarras mosqueadas. El conjunto infraordovícico ocupa una "antiforma" de amplio radio, en cuyo núcleo aparece el batolito de Alburquerque.

### 3.2. ORDOVÍCICO.

En el área estudiada, los materiales atribuidos al Ordovícico podrían suponerse discordantes (RAMÍREZ, E., 1952), lo que no ha podido ser comprobado a causa del recubrimiento producido por derrubios y coluviales procedentes de las cuarcitas, que ocultan el contacto con el complejo infraordovícico.

Litológicamente aparece representando por cuarcitas, que en algunas zonas se presentan en "facies armoricana", así como por pizarras suprayacentes de coloraciones ligeramente amarillentas con abundantes óxidos de hierro. Estas pizarras aparecen intercaladas entre niveles cuarcíticos, observándose un tránsito gradual entre ambos; solamente se aprecian en algunos puntos donde la erosión ha excavado suficientemente el recubrimiento.

Los únicos restos fósiles encontrados corresponden a "crucianas" en mal estado de conservación, lo cual no permitió obtener una cronoestratigrafía más precisa.

Los materiales ordovícicos forman grandes alineaciones montañosas de clara dirección hercínica NW-SE.

### 3.3. SILÚRICO.

En la Extremadura central, el Silúrico presenta un tránsito confuso hacia el Ordovícico, aunque en algunas áreas se encuentra bien datado mediante fauna de graptolites (RAMÍREZ, 1963).

En nuestro caso, y como consecuencia de la ausencia total de restos fósiles, se ha utilizado como criterio para la datación relativa de estos materiales la situación estratigráfica y la comparación con otras series.

Litológicamente aparece constituido por pizarras de aspecto ampelítico, que dan lugar a una serie monótona muy replegada y posteriormente arrasada. Presentan gran cantidad de sílice, así como algunos tramos más o menos arcillosos, observándose pequeños nódulos con núcleos limoníticos y arcillosos.

Por consiguiente, parece que se puede asimilar con el Silúrico más meridional definido por HERNÁNDEZ PACHECO, F. y ROSSO DE LUNA, I. (1960).

Estos materiales ocupan una "sinforma" cuya dirección regional es claramente hercínica.

### 3.4. DEVÓNICO.

El conjunto de materiales pertenecientes a este sistema ha sido estudiado mediante la realización de cinco cortes de campo, ejecutados perpendicularmente a la dirección de las estructuras.

En líneas generales, presenta cierta similitud con determinadas series del suroeste español, apareciendo representado por siete niveles, utilizados en la cartografía geológica realizada a escala 1:10.000 (fig. 2).

De forma esquemática, se pueden distinguir tres "unidades" litológicas claramente diferentes, que se describen a continuación.

#### A) Unidad superior.

Forma extensas llanuras constituidas por pizarras y esquistos, de tonos amarillentos en superficie y más oscuros en fresco. Aparecen fuertemente replegados y arrasados. Hacia el sur pasan gradualmente a tramos calcáreos, más o menos dolomíticos, en los que resaltan paquetes de calizas con restos de "crinoides" y "corales", pudiéndose datar como devónicos, incluso devónico bastante superior.

Este nivel calcáreo puede considerarse en cierto modo como "nivel guía", representando el tramo más característico de toda la serie devónica.

La "unidad superior" no presenta un límite claro con el Silúrico, por lo cual es probable que parte del Devónico superior de esta zona haya sido erosionado parcialmente.

Los niveles calcáreos se presentan en afloramientos de morfología variable, de aspecto lentejonar, y dan lugar a una estrecha banda difícil de seguir hacia el oeste. Se ve afectada por un sistema de fracturas que trastoca su continuidad de afloramiento, desplazando los distintos niveles.

#### B) Unidad intermedia.

A continuación, y con un tránsito bastante gradual, aparece una serie de calcoesquistos con frecuentes intercalaciones de liditas, seguidos de esquistos en "librillo" y atravesados por numerosos

filoncillos de cuarzo y algunas brechas ferruginosas. Entre estos dos niveles se sitúan unas rocas básicas, del tipo diabasas, que afloran dando una banda subparalela a la dirección de estratificación y que hacia el oeste se adelgazan y desaparecen antes de llegar a la Codosera. Están en relación espacial con los materiales carbonatados y se ven afectadas por un control estructural. Pudiera tratarse de diques postorogénicos tardihercánicos.

La "unidad intermedia" es azoica, presentando un problema cronoestratigráfico que por el momento no se puede resolver, debido a la ausencia de criterios para su datación; únicamente resulta evidente su posición por debajo de la "unidad superior" sin poder obtener mayor precisión.

#### C) Unidad inferior.

En la zona más meridional y sin observarse ningún cambio brusco, aparece una serie esquistoso-pizarrosa de tonos rojizos, con frecuentes aureolas ferruginosas. Hacia el sur, se torna más arenosa, apareciendo algunos niveles cuarcíticos intercalados de poca potencia. Al igual que la unidad suprayacente, es azoica.

Por debajo de estos materiales se presentan niveles cuarcíticos bien caracterizados, frecuentemente ferruginosos, que parecen corresponder a las cuarcitas del Devónico inferior que afloran al sur del batolito de Los Pedroches (FEBREL, T. y SÁENZ, J., 1964).

Esta "unidad inferior" puede considerarse como Devónico inferior, por comparación con algunas series del N de Huelva y S de Badajoz (GUTIÉRREZ ELORZA, M., y cols., 1971), datadas como del Emisense por braquiopodos y trilobites; así como con las muy próximas de Villar del Rey, caracterizadas como Gedinenses, por HERNÁNDEZ PACHECO, F., y ROSSO DE LUNA, I (1960).

El conjunto de materiales devónicos se encuentra afectado por un gran replegamiento que impide obtener una idea exacta de la potencia total, ya que en ocasiones puede llegar a duplicarse, pero ésta nunca será inferior a 200 metros.

El tramo calcáreo-devónico presenta interés desde el punto de vista metalogénico, porque constituye la posible estructura receptora de la mineralización de antimonio de San Antonio, situada entre Albuquerque y La Codosera (GUMIEL, P.; ARRIBAS, A.; SAAVEDRA, J., 1976).

La mineralización parece que se sitúa aproximadamente hacia la base de la unidad superior y a techo de la unidad intermedia; es decir, preferentemente entre las calizas y los calcoesquistos. No obstante, el control litológico de la misma no parece ser en extremo riguroso.

#### 3.5. CUATERNARIO.

Tiene poca representación en el área, apareciendo constituido por depósitos de arenas y arcillas que ocupan los cursos actuales de los ríos; tal es el caso del Gévora y el Alcornejo. En ocasiones se trata de cantos de cuarzo y cuarcita englobados en una matriz arcillosa, que forman pequeñas terrazas. También se pueden incluir los derrubios de la dera de las sierras cuarcíticas.

### 4. TECTONICA

La complejidad tectónica y estructural de la zona es tal, que para el establecimiento de un modelo tectónico de rigor, serían necesarias mayor número de medidas.

En cualquier caso, cabe destacar que, al menos en el área estudiada, si ha existido una anterior orogénesis antehercánica, sus estructuras han sido destruidas por las fases tectónicas posteriores.

La orogénesis hercínica es la responsable de las principales estructuras que existen en la zona, las cuales se caracterizan fundamentalmente por lo siguiente:

- Una marcada orientación fundamental NW-SE.
- Buzamientos que oscilan de subverticales a verticales en la mayor parte del sector.

#### 4.1. DEFORMACIONES CONTINUAS.

A continuación se describen los principales elementos estructurales que existen en el área y que proporcionan estructuras a escala mesoscópica, para posteriormente pasar a escala macroscópica.

Los datos estructurales a escala mesoscópica han sido elaborados siguiendo las técnicas estructurales de RAMSAY, 1960; TURNER y WEISS, 1963; WEISS y MC INTYRE, 1957 y otros.

Se han determinado tres tipos de estructuras mesoscópicas diferentes en el área de estudio.

#### 4.1.1. Estructuras originadas por un primer movimiento.

$S_0$ =Estratificación. Normalmente suele apreciarse por la alternancia de niveles de distinta litología, distinta composición, etc.

$S_1$ =Esquistosidad de la primera fase de deformación. Se desarrolla paralela al plano axial de los pliegues y aparece más acentuada en los

y se hace subparalela a la estratificación ( $S_0$ ) fuera de las charnelas de los pliegues.

$B_{S_0}^{S_1}$ =Ejes de los pliegues originados por el primer movimiento en  $S_0$ , que tiene por plano axial a  $S_1$  y son paralelos a la intersección de  $S_0$  y  $S_1$ . Estos ejes ( $\beta_1$ ) son horizontales o con tendencia a la horizontalidad.

Los pliegues suelen ser simétricos o asimétricos, con tendencia a la geometría similar, combinándose en las series, pliegues de las clases 1C y 3 de RAMSAY (1967), y frecuentemente con geometría de pliegues en acordeón, según la litología.

- En el complejo infraordovícico destacan pliegues de tendencia isoclinal, con esquistosidad de flujo de plano axial y subparalela a  $S_0$  en los flancos, fuera de la charnela (fig. 4).



Figura 3

Esquistosidad  $S_1$  y estratificación  $S_0$  en pliegues asimétricos de las cuarcitas y esquistos ordovícicos. Carretera de San Vicente de Alcántara a La Codosera entre los kilómetros 12 y 13.

materiales pelíticos. Está originada por una orientación preferente de los materiales micáceos (fig. 3).

Esta esquistosidad sin-metamorfismo regional epizonal, está ampliamente desarrollada y a veces enmascara la estratificación. Posee una dirección media de N110°E con un buzamiento de 80°SW,

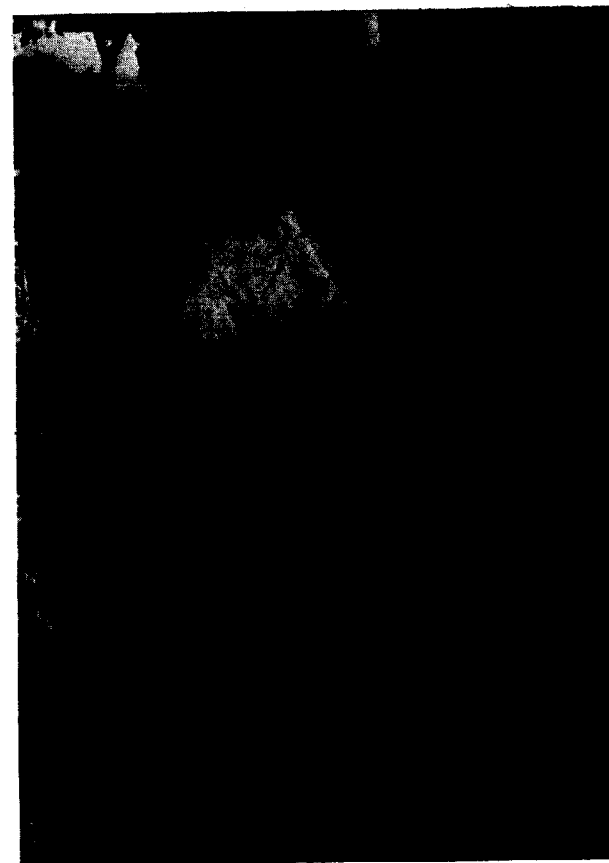


Figura 4

Pliegue de tendencia isoclinal en el complejo infraordovícico. Presenta esquistosidad de flujo de plano axial, que se hace subparalela a  $S_0$  en los flancos, fuera de la charnela. En las inmediaciones del kilómetro 10 de la carretera de San Vicente de Alcántara a La Codosera.



- En las cuarcitas y esquistos ordovícicos, los pliegues que aparecen suelen ser de tipo intermedio con tendencia a la geometría similar (pliegues de las clases 1C y 3 de RAMSAY), y se presentan como pliegues simétricos o asimétricos (figs. 3 y 5).

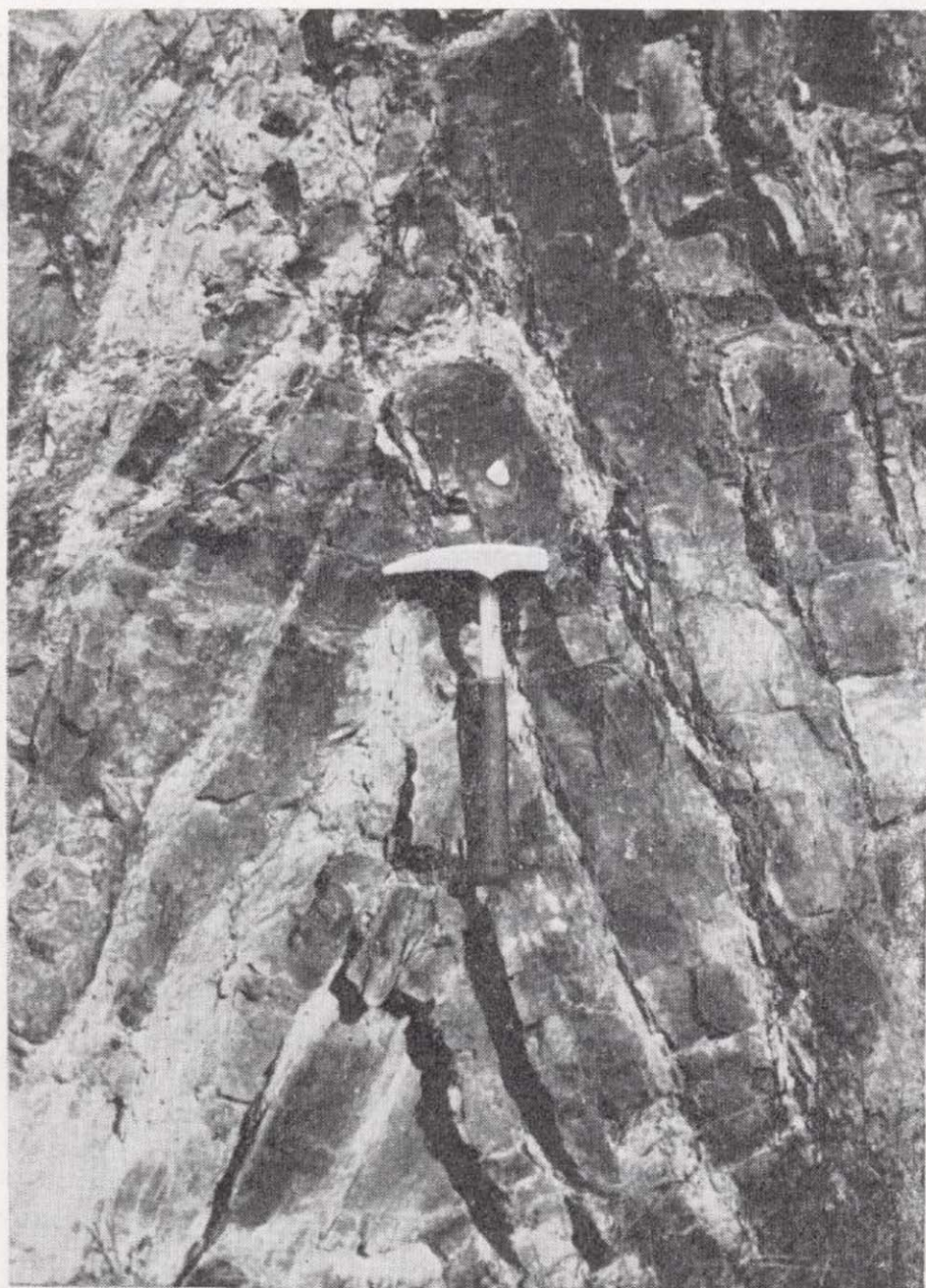


Figura 5

Pliegues con tendencia a la geometría similar, simétricos, pertenecientes a las clases 1C y 3 de RAMSAY, en las cuarcitas y esquistos ordovícicos. Carretera de San Vicente de Alcántara a La Codosera, entre los kilómetros 12 y 13.

- En las calizas, calcoesquistos y liditas del Devónico aparecen del mismo modo, pliegues de tendencia similar apretados y volcados generalmente al norte. También se observan micropliegues subisoclinales en las liditas asociadas (fig. 6).
- En los numerosos diques de cuarzo que existen en todo el conjunto, suelen aparecer pliegues por flexión o incluso boudinados.

Este primer movimiento tectónico originó pliegues de eje  $B_{S_0}^{S_1}$  de vergencia norte y de dirección WNW-ESE con inmersión hacia el SE, así como una esquistosidad  $S_1$  que generalmente buza al SW y es paralela a la superficie axial.



Figura 6

Pliegues de tendencia similar apretados y volcados generalmente hacia el norte, en las calizas, calcoesquistos y liditas del Devónico. Se observan micropliegues subisoclinales en las liditas. Calicata del ferrocarril de la mina "San Antonio" (Albuquerque).

#### 4.1.2. Estructuras originadas por un segundo movimiento.

$S_2$  = Esquistosidad de plano axial de los pliegues de la segunda fase de deformación. Es menos penetrativa y más difícil de reconocer en campo, pero su existencia parece confirmada por la aparición de "astillamientos" en las pizarras, como consecuencia de la intersección de dos esquistosidades,  $S_1$  y  $S_2$ .

$B_{S_0}^{S_2}$  = Ejes de pliegues de la segunda generación en  $S_0$  y que tienen por plano axial a  $S_2$ . Son paralelos a la intersección de  $S_0$  y  $S_2$ .

Estos pliegues originados por un segundo movimiento tectónico, menos frecuentes que los del primero, se presentan en forma de pliegues más laxos, ondulaciones y pliegues más abiertos de dirección NNE-SSW; ortogonales a los anteriores.

#### 4.1.3. Deformaciones tardías.

Aparecen originadas como consecuencia de movimientos tardíos y están relacionadas con los pliegues mayores. Se pueden distinguir:

- Pliegues en V (Kink-folds) de  $S_1$ .



Estos pliegues (fig. 7), se traducen en pequeñas ondulaciones, kink-bands, y pueden ser debidos a un movimiento tardío que pudo ser coaxial con la primera deformación y sólo se observa en  $S_1$ , o bien por una última etapa de deformación.

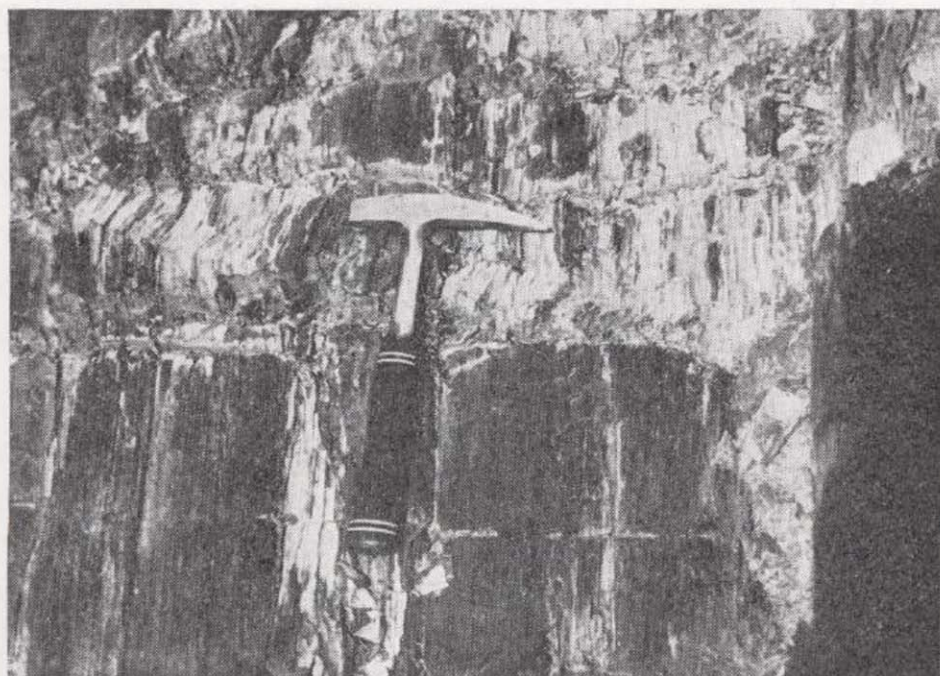


Figura 7

Kink-bands en  $S_1$ . Esquistos del Devónico en las proximidades de la mina de "San Antonio" (Albuquerque).

Se midieron direcciones aproximadamente entre  $N 120^\circ-125^\circ E$ , buzando  $60^\circ-70^\circ N$ . Los ejes presentan direcciones próximas a  $N 120^\circ E/40^\circ N$ .

#### 4.1.4. Estructuras macroscópicas.

La primera fase de deformación es la responsable de las macroestructuras hercínicas que aparecen en el área y están bien delimitadas por los niveles de cuarcitas armoricanas.

Esta da origen a grandes pliegues kilométricos marcadamente orientados NW-SE que forman largas bandas de hasta varias decenas de kilómetros.

En el área estudiada, de N a S se disponen las siguientes unidades:

- Un sinclinorio que se sigue a lo largo de la Sierra de San Pedro.
- Un anticlinorio cuyo núcleo aparece ocupado por el complejo infraordovícico y por el batolito granítico de Albuquerque.
- Un sinclinorio que aparece ocupado por los materiales devónicos (objeto de este estudio).

Estos aparecen constituidos por una serie de pliegues menores acompañantes simétricos o asimétricos,

cuyo eje se hunde aproximadamente  $10^\circ$  hacia el oeste.

Estas macroestructuras son las responsables de los afloramientos devónicos en los sinclinorios y de los materiales infraordovícicos en los anticlinorios. Por otra parte favorecen el emplazamiento de los batolitos graníticos (Batolito de Albuquerque).

#### 4.2. GEOMETRÍA DEL PLEGAMIENTO.

Las superficies de estratificación  $S_0$  son las estructuras planares más prominentes en el área estudiada. Sus posiciones definen el estilo de deformación. Por consiguiente, a escala mesoscópica, el estudio estadístico de la geometría de  $S_0$  revelará la orientación de las estructuras megascópicas que existen en la zona.

El objeto del análisis estructural  $\beta$ , es encontrar áreas estadísticamente homogéneas con respecto a  $\beta$  (eje de los pliegues), lo cual puede llegar a establecerse dividiendo el área en dominios homogéneos. Se han caracterizado dos dominios diferentes que corresponden a las distintas unidades litoestratigráficas.

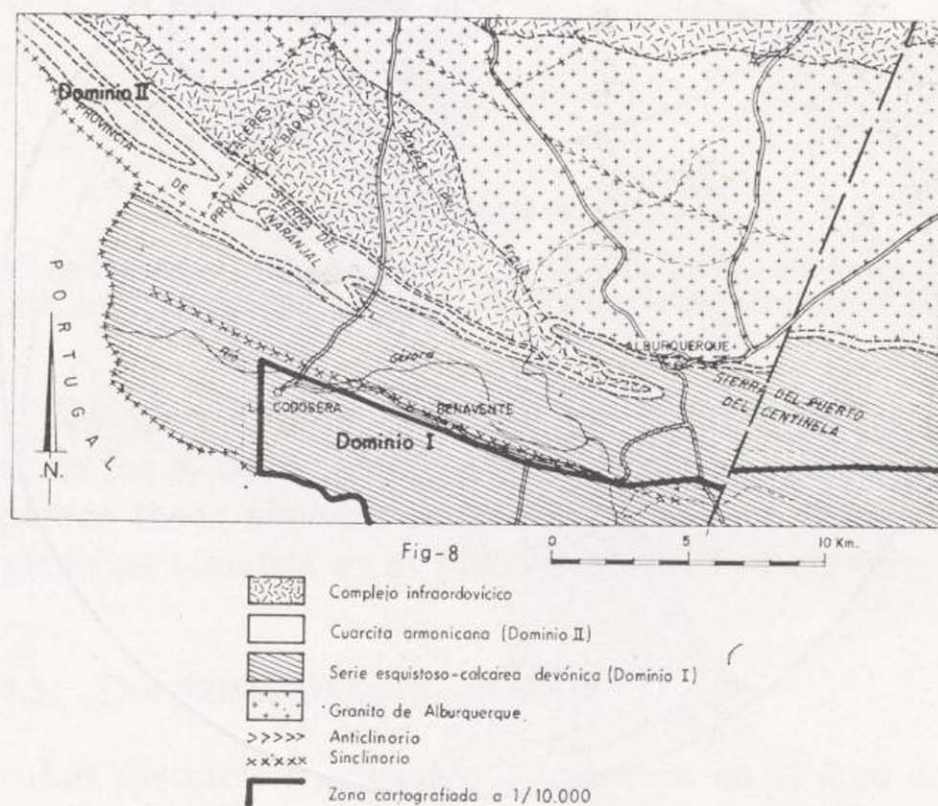


Figura 8

Dominio I: Serie esquistoso-calcareo del Devónico inferior.

Dominio II: Cuarcita armoricana de la base del Ordovícico.

En ellos se ha efectuado el análisis estructural, en función de la orientación y relaciones geométricas de los principales elementos estructurales, estra-



tificaciones y esquistosidades, lo que proporciona una imagen clara de la orientación de dichos elementos en cada dominio, así como de sus variaciones entre sí.

Los resultados se han combinado con objeto de intentar obtener la geometría megascópica del área completa; teniendo en cuenta que en algunos casos los datos estructurales son escasos, dada la dificultad de obtenerlos en los afloramientos.

El proceso que se ha seguido, ha sido la proyección estereográfica polar de elementos estructurales ( $S_0$  y  $S_1$ ), en el hemisferio inferior de una proyección equiareal (red de Schmidt).

#### 4.2.1. Geometría del dominio I.

En el diagrama 1 se han proyectado 60 polos de  $S_0$  y 20 ejes de pliegues, que definen un eje  $\beta_1$ , subhorizontal, de dirección N 105° E y con una inmersión (plunge) de 10° NW.

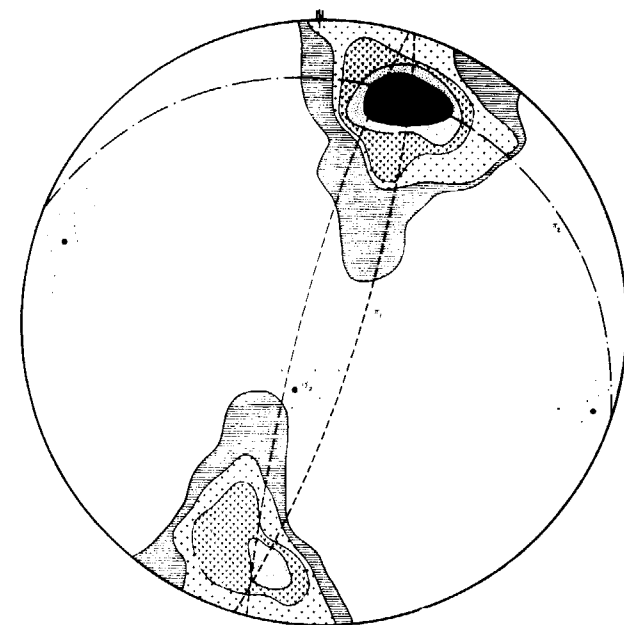


Diagrama 1

60 polos de  $S_0$  y 20 ejes de pliegues (Contornos 1, 3, 6, 9, 11%) en la serie esquistoso-calcárea del Devónico inferior (Dominio I).

La mayor parte de los  $S_0$  se concentran en un máximo (11,8 %) con una posición de N 112° E buzando 70° S. El diagrama refleja el tipo de pliegues que generalmente se observa en el campo, ligeramente asimétricos, con predominio del flanco

que buza al sur y con buzamientos cercanos a la vertical.

Los polos no están exactamente distribuidos sobre un círculo máximo, por lo que el plegamiento no es rigurosamente cilíndrico. El principal plano de simetría ( $\pi_1$ ) presenta direcciones que oscilan entre N 18° E y N 16° E con buzamientos de 80° SE y 84° NW, siendo el principal plano de dispersión de los polos  $S_0$ .

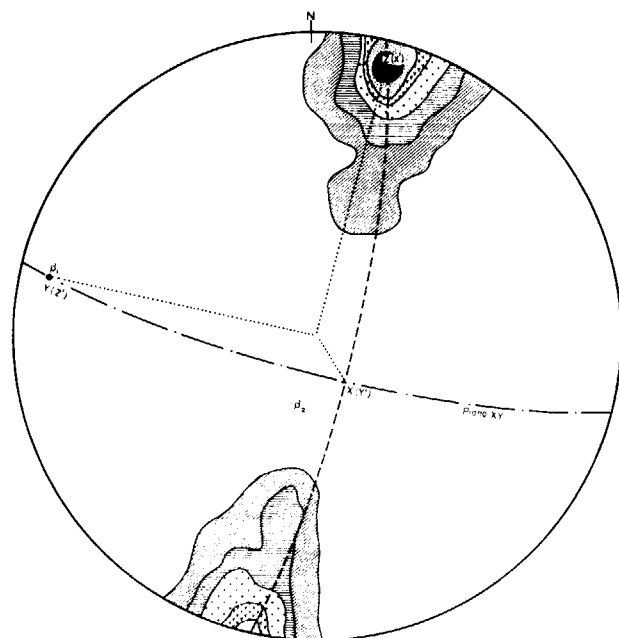


Diagrama 2

50 polos de  $S_1$  (Contornos 1, 6, 14, 20, 22, 26%) en la serie esquistoso-calcárea del Devónico inferior (Dominio I).

También parece existir otra dispersión de menor categoría a lo largo de otro círculo máximo; el plano  $\pi_2$  de dirección N 110° E buzando 20° N, indicaría la existencia de otro movimiento tectónico definido por un eje  $\beta_2$  cuya inmersión es de 70° en dirección N 22° E, y que es aproximadamente ortogonal a  $\beta_1$  ( $\beta_1\beta_2=80^\circ$ ).

En el diagrama 2 se han proyectado 50 polos de  $S_1$ , mostrando un máximo (26 %) correspondiente a una posición N 106° E con un buzamiento de 80° SW.

Dicha esquistosidad se observa que contiene al eje  $\beta_1$ , es decir, es subparalela al plano axial de la estructura definida por los polos  $S_0$ .

Por consiguiente, en este dominio se pone de manifiesto la existencia de dos deformaciones superpuestas. Considerando la orientación de los  $S_0$

con respecto al eje  $\beta_1$ , la fábrica megascópica parece tener simetría monoclinica, puesto que el único elemento de simetría es el plano  $\pi_1$  (N18° E/80° SE), normal al eje  $\beta_1$ .

#### 4.2.2. Geometría del dominio II.

En el diagrama 3, se han proyectado 40 polos de  $S_0$ , definiéndose un eje  $\beta_1$ , subhorizontal de dirección N148° E y con una inmersión de 20° SE.

La mayoría de los polos  $S_0$  se concentran en un máximo (25 por 100), que corresponde a una dirección N 144° E y 78° SW de buzamiento.

La dispersión principal de los polos  $S_0$  es en torno al círculo máximo  $\pi_1$  de dirección N60° y 70° NW de buzamiento. Mucho menos definida se observa también otra dispersión secundaria de los polos  $S_0$  en torno al círculo máximo  $\pi_2$  de dirección N144° E

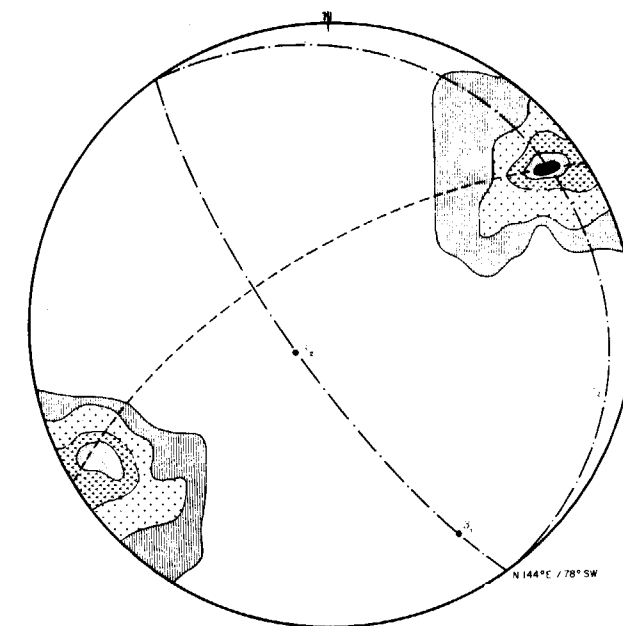


Diagrama 3

40 polos de  $S_0$  (Contornos 1, 5, 15, 20, 22% en la cuarcita armoricana de la base del Ordovícico (Dominio II).

y buzamiento 12° N, de tal forma, que de la misma manera que en el dominio I, en este dominio parece que existe otro movimiento tectónico de eje  $\beta_2$  de dirección N54° E con una inmersión de 78° S.

El ángulo entre  $\beta_1$  y  $\beta_2$  es de 70°, es decir aproximadamente ortogonal a  $\beta_1$ .

En el diagrama 4, se han representado 35 polos de  $S_1$ , que están concentrados en un máximo (28,5 por 100) correspondiente a un plano de dirección N140° E, buzando 68° SW. Por consiguiente, el conjunto de las  $S_1$  es estadísticamente subparalelo al plano axial de la estructura definida en el diagrama 3, de modo que el eje  $\beta_1$  está contenido en los dos planos (N144° E/78° SW y N140°/68° SW).

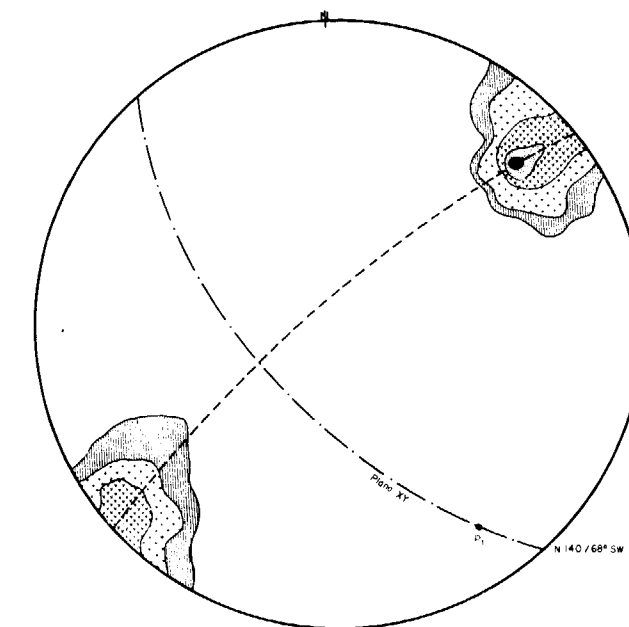


Diagrama 4

35 polos de  $S_1$  (Contornos 1, 6, 18, 26, 28%) en la cuarcita armoricana de la base del Ordovícico (Dominio II).

Del mismo modo, considerando también la orientación de los  $S_0$  con respecto a  $\beta_1$ , la fábrica megascópica parece tener simetría monoclinica, ya que el único plano de simetría es el plano  $\pi_1$  normal al eje  $\beta_1$ .

#### 4.3. DEFORMACIONES DISCONTINUAS.

Las distintas fracturas que aparecen en el área de estudio, se han representado mediante "diagramas en rosa" y en el diagrama de contornos general de fracturas.

En los diagramas 5, 6 y 7 se han representado las fracturas en la serie esquistoso-calcárea y en el granito. Los datos fueron obtenidos de la fotografía aérea (direcciones aproximadas) y la metodología ha sido representar la fracturación por separado para cada litología (diagramas 5 y 6) y finalmente para todas las rocas en conjunto (diagrama 7).



Es evidente que existe un error de medida al construir los diagramas en rosa, puesto que la dirección

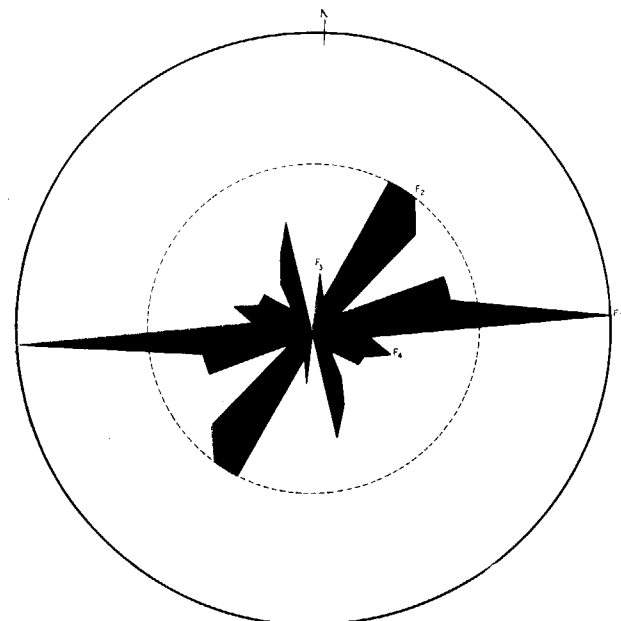


Diagrama 5

60 Diadasas y fracturas en el granito de Albuquerque.

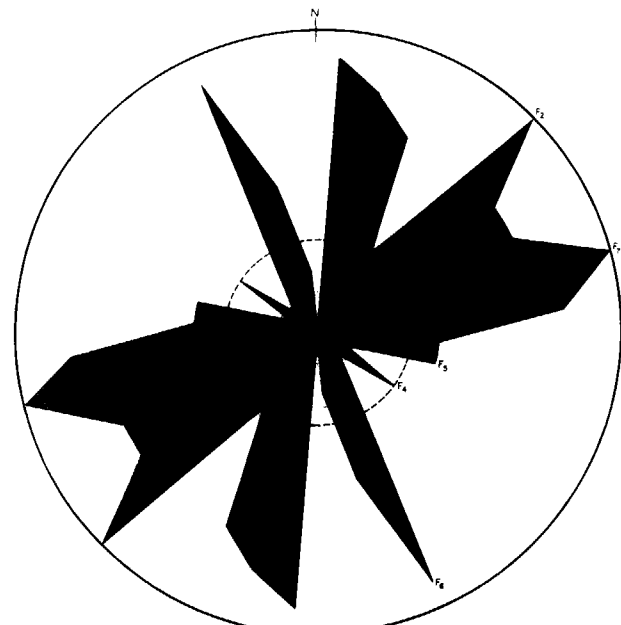


Diagrama 6

100 fracturas en esquistos.

es aproximada debido a que la intersección de los planos de fractura con la topografía, no es horizontal. Por otra parte no dan información sobre la in-

clinación de los planos. No obstante, a pesar de estos inconvenientes, su empleo está bastante generalizado

Por consiguiente, es preciso interpretar los resultados con cautela ya que se carece de una representación espacial completa. No obstante con objeto de obtener representaciones tridimensionales, se ha realizado un diagrama de contornos generalizado para todas las fracturas de la zona. Esto ha sido posible porque en las zonas de mina, se han podido medir fracturas en las tres dimensiones.

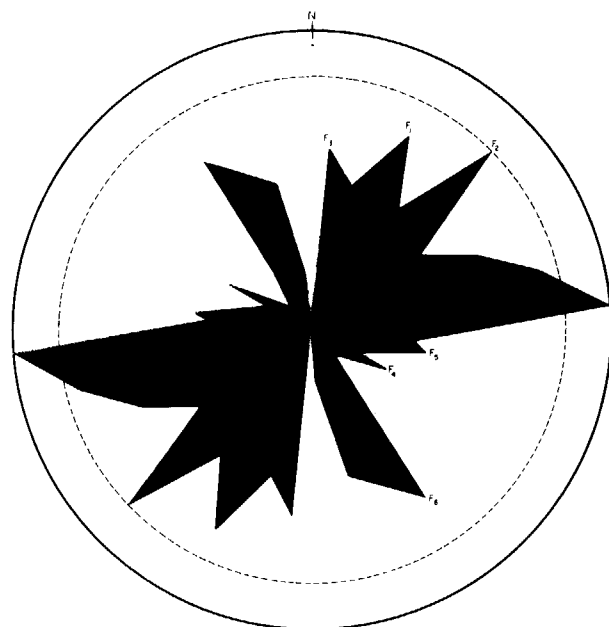


Diagrama 7

160 Diaclasas y fracturas en esquistos y granito.

Este diagrama completa la información sobre la tectónica frágil (diagrama 8).

Se ha visto que las fracturas pueden agruparse en cuatro sistemas, distribuidos en grupos, de los cuales, los dos laterales se disponen formando un ángulo de aproximadamente 20° con el central, es decir el grupo central coincide con la bisectriz del ángulo formado por los dos laterales.

Por consiguiente se pueden distinguir (diagrama 7).

1. Un sistema que tiene un grupo central ( $F_1$ ) de orientación aproximada N25° E y dos laterales cuyas direcciones son cercanas a N45° E ( $F_2$ ) y N5° E ( $F_3$ ).

La principal representante de la familia de fracturas ( $F_2$ ), es la falla de Plasencia y toda la serie

de fracturas satélites que lleva consigo. Estas presentan direcciones que oscilan entre N40°-50° E. Este accidente, de gran importancia en la zona, se trata de una falla en dirección de trazado rectilíneo, cuyo movimiento de carácter sinistral se pone de manifiesto claramente en todo el sector. La datación de la estructura de Plasencia, parece ser tardihercínica. (GARCÍA DE FIGUEROA, 1963, 1965, PARGA, 1969, CAPOTE y col., 1971, VEGAS, 1974, ARENILLAS y cols., 1975, GARZÓN-HEYDT y cols., 1976, etc.)

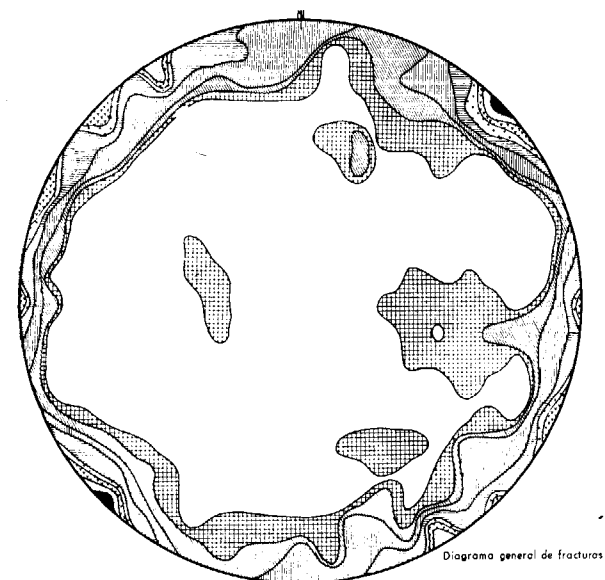


Diagrama 8

130 polos (contornos 0,5; 1; 2; 4; 6; 7; 8; 10 %).

La fractura de Plasencia, según GARCÍA DE FIGUEROA, es en parte una línea de fractura y en parte una amplia banda de trituration. En determinados puntos presenta claramente una desviación de las estructuras hercínicas en las que produce un desplazamiento del bloque SE hacia el NE, que alcanza hasta 15 kilómetros (Aliseda, Cáceres). Esta fractura debió iniciarse con movimientos tardihercínicos que produjeron el desgarre de las estructuras de plegamiento y tectonización en los granitos. Posiblemente en épocas posteriores, tuvo lugar una fase de distensión que favoreció el emplazamiento de las diabasas.

2. Otro sistema que presenta un grupo central de dirección aproximada N115° E ( $F_4$ ) y dos laterales de direcciones medias N100° E ( $F_5$ ) y N145° E ( $F_6$ ). Se observa en ambos casos que los grupos laterales forman con el central un ángulo aproximado de 20°.

El grupo central (aproximadamente N115° E) es otra familia de fracturas de gran importancia en el área, como se verá posteriormetne en la discusión.

3. Otro sistema que adquiere importancia en toda la zona y en especial en el granito (diagrama 5), es el que presenta una dirección aproximada de N85° E ( $F_7$ ), cuya familia de fracturas presenta direcciones que oscilan entre 80° E y 90°.

4. Finalmente destaca un conjunto de fracturas de dirección N-S que afectan a todos los materiales, y parece que se trata de fallas normales que producen un cierto movimiento de bloques en los paquetes calcáreos (niveles guía), de la formación devónica.

La longitud de representación de las distintas familias de fracturas está en relación directa con la importancia de las mismas en el área. Por ejemplo, las familias  $F_6$  y  $F_7$  son más importantes en número que las  $F_4$ .

Del diagrama de contornos (diagrama 8), realizado para todas las fracturas en general, se deducen las siguientes consideraciones:

— Se observa claramente una concentración de polos en los máximos, los cuales aparecen situados en la circunferencia primitiva, lo que quiere decir que la mayoría de las fracturas son subverticales o verticales, aunque hay algunas que presentan desviaciones de esta posición.

— Destacan dos máximos importantes (>10 por 100) en los cuadrantes NE y SW, correspondientes a las direcciones NW-SE de amplia manifestación en todo el sector.

— Existen también otros máximos importantes (8-10 por 100) en los cuadrantes NW y SE que corresponden a las direcciones tardihercínicas NE-SW, sistema conjugado del anterior. Corresponde a la dirección del accidente del Alentejo-Plasencia. Existen también dos submáximos (7-8 por 100) en dichos cuadrantes, correspondientes a la dirección aproximada E-W.

— Por último se observa un máximo en la línea E-W correspondiente a las fracturas de dirección N-S.

## 5. CONSIDERACIONES CINEMATICAS Y DINAMICAS

La interpretación cinemática obtenida de los diagramas estructurales, se realiza en función de su simetría. La simetría de una fábrica tectónica refle-



ja la simetría de los movimientos que la han originado (TURNER, y WEISS, 1963), pero no dan información directa sobre la distribución y naturaleza de los esfuerzos que han causado la deformación. Por consiguiente una interpretación rigurosa sería tan sólo cinemática.

En nuestro caso, se ha considerado la cinemática de las deformaciones, pero al mismo tiempo se ha elaborado una interpretación dinámica sobre la distribución de esfuerzos (sentido de acortamiento), la cual es válida como hipótesis de trabajo, dada la importancia que puede tener el conocimiento de la influencia de los movimientos tectónicos en las mineralizaciones que aparecen en el área.

Para realizar el estudio se ha elegido el diagrama 2 (es válido también para el diagrama 4).

Las características geométricas de los pliegues se van a referir a sus tres ejes perpendiculares entre sí X, Y, Z, de deformación.

El plano de esquistosidad  $S_1$  correspondiente al máximo de las  $S_1$  proyectadas (esquistosidad de plano axial), es el plano XY (N106° E/80° SW). Haciendo coincidir el eje Y con el eje  $\beta_1$  del pliegue (N105° E/10° NW), el eje X queda definido por ser perpendicular al eje Y y estar contenido en el plano XY.

El eje X tiene una dirección N150° E y una inmersión de 76° NE, y el eje Z es perpendicular al plano XY (polo del plano), es decir coincide con el máximo del diagrama 2. El eje Z tiene una dirección N16° E con una inmersión de 10° N.

Utilizando la disposición de la esquistosidad, se puede suponer que la dirección X coincide con la dirección de flujo o transporte tectónico, de manera que se deja a un lado el concepto geométrico para pasar a considerar el aspecto cinemático del plegamiento.

En este caso la dirección de acortamiento máximo correspondería a la del eje Z, es decir normal a la esquistosidad. En efecto, la esquistosidad, así como el plegamiento de la estratificación, se desarrolla normal a la dirección de acortamiento (TURNER y WEISS, 1963), originándose un aplastamiento en el plano axial, cuya dirección debe coincidir con la del eje X.

La segunda deformación queda marcada como se dijo al definir la geometría de los dominios, por la dispersión de los polos  $S_0$  en el plano  $\pi_2$  (diagramas 1 y 2), o lo que es igual alrededor de un eje  $\beta_2$  que casi coincide con el eje X.

Esta deformación que parece de menor intensi-

dad que la primera y aunque si bien la disposición de las direcciones de acortamiento no es tan clara, correspondería a WNW-ESE. De modo que los ejes cinemáticos de los pliegues de este segundo movimiento X', Y', Z', se orientan de tal forma que dan lugar a una tectónica de ejes cruzadas,  $B_1 \perp B_2$  (diagrama 2).

— En resumen, lo único que se puede confirmar con los datos que se poseen es que la primera fase de deformación presenta una orientación aproximada de las estructuras en sentido WNW-ESE y produce esquistosidad de flujo de plano axial. Esta fase es debida a una dirección de acortamiento en sentido NNE-SSW.

— Respecto a la segunda fase de deformación, que presenta estructuras más suaves (pliegues más abiertos) de dirección NNE-SSW y esquistosidad menos penetrativa y más difícil de reconocer en campo, se observa que aparece como consecuencia de un acortamiento en sentido WNW-ESE (cerca a W-E), lo que coincide con el sentido de compresión E-W (BLADIER, 1974), para zonas situadas más al sur del área estudiada.

— Por otra parte, no se han encontrado criterios que pongan de manifiesto la existencia generalizada, en el área de estudio, que permitan definir una fase de deformación previa, equivalente a la ante- $F_2$  de la extensión precámbrica del anticlinorio del centro de la provincia de Cáceres (VEGAS, 1971).

La fase caracterizada como primera fase de deformación, en la zona, podría ser correlacionable con la  $F_2$  de Sierra Morena.

La segunda fase de deformación, que aparece peor definida y se presenta dando estructuras más suaves (NNE-SSW), podría ser comparable con la tercera fase determinada por VAUCHEZ (1957) para el flanco occidental de la estructura de Burguillos.

A continuación se establecen las relaciones entre fracturación y deformaciones.

De la observación conjunta de los diagramas estructurales y de fracturación, resulta que, por un lado existe coincidencia entre las fracturas de dirección WNW-ESE y el eje Z' de máximo acortamiento, de dirección N105° E. Resultaría factible atribuir dicho sistema de fracturas a esfuerzos de dirección WNW-ESE.

Esta observación conduce a pensar que debido a estos esfuerzos se ha podido generar un sistema de grietas de tensión de dirección aproximada N110° E que coincidiría con  $F_4$ . Estas fracturas de tensión son

las que favorablemente pueden abrirse y ofrecer espacio suficiente como para que se produzca el emplazamiento de mineralizaciones. Los dos sistemas de fracturas de cizalla acompañantes, son menos favorables para el emplazamiento de las mismas porque suelen permanecer selladas.

Como ya se indicó, en la formación calcárea-devónica, se encuentra situado el yacimiento de estibina-scheelita de San Antonio. Se trata de un yacimiento filoniano de dirección media de filones N110° E, y cuya mineralización es hidrotermal y epigenética con filones de relleno y reemplazamiento (GUMIEL, ARRIBAS, SAAVEDRA, 1976).

Parece que la dirección de los filones coincide con la dirección de las fracturas de tensión (N110° E) originadas probablemente por esfuerzos compresivos de dirección aproximada E-W. Por consiguiente, se puede establecer que la mineralización antimonífera de San Antonio presenta un claro control tectónico, de manera que la existencia de fracturas de tensión abiertas de dirección WNW-ESE ha debido favorecer el emplazamiento de la mineralización.

Idéntico razonamiento se puede hacer para la familia de fracturas ( $F_1$ ) de dirección aproximada N25°-30° E. Estas pueden corresponder también a fracturas de tensión, y se observa que coinciden con otras direcciones de filones mineralizados de la zona. Pueden ser debidas a esfuerzos compresivos en sentido prácticamente N-S. No sin descartar la posibilidad de que sean debidas a movimientos de distensión.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. D. Fernando Vázquez, Jefe de la división de Investigaciones Mineras del IGME sus sugerencias y estímulo para la realización de este trabajo y al Dr. D. Ramón Capote del Departamento de Geotectónica de la Universidad Complutense de Madrid su inestimable ayuda y sugerencias a lo largo del mismo.

## BIBLIOGRAFIA

- ALIA MEDINA, M.: Rasgos estructurales de la Baja Extremadura. "Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)", 61, 247-262 (1963).
- ARENILLAS, M.; SAAVEDRA, J., y ARRIBAS, A.: Un dique de tendencia sienítica en la provincia de Avila. "Bol. Geol. Min.", 86 (3), 233-243 (1975).

BARD, J. P.: Sur l'alternance des zones métamorphiques et granitiques dans le segment hercynien sud-ibérique; comparaison de la variabilité des caractères géotectoniques de ces zones avec les orogènes "orthotectoniques". "Bol. Geol. Min.", 82 (3-4), (1971).

BLADIER, Y.: Structure et Pétrologie de la bande blastomylonitique de Badajoz-Córdoba (Chaîne hercynienne sud-ibérique) à l'ouest d'Azuaga (Espagne) Les roches cataclastiques; Classification; Interpretation. Thèse Univ. Sci. et Techn. Languedoc. Montpellier (1974).

CAPOTE, R.: Observaciones sobre la tectónica de las series precámbricas y paleozoicas del E de la provincia de Cáceres. "Bol. Geol. Min.", 82 (2), 31-35 (1971).

CAPOTE, R., y FERNÁNDEZ CASALS, M. J.: Esquistosidad y tectónica superpuesta en el Paleozoico Inferior del afloramiento metamórfico de Muñico (provincia de Avila). "Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)", 69 175-185 (1971).

FEBREL, T., y SAENZ, J.: El Devoniano del Sur del Batolito de Los Pedroches en las provincias de Córdoba y Badajoz. Notas y Comunicaciones del IGME (73), 51-61 (1964).

GARCÍA FIGUEROA, L. C.: El dique diabásico del norte de Extremadura. Notas y Comunicaciones del IGME (77), 129-164 (1963).

GARCÍA FIGUEROA, L. C.: La continuación hacia el SW del dique básico de Plasencia. Notas y Comunicaciones del IGME (1965).

GARZÓN-HEYDT, GONZALO LODEIRO, F., y VEGAS, R.: Estudio tectónico y microtectónico de la fracturación de un segmento del Sistema Central Español. Stvdia Geológica, X, 7-16 (1976).

GUMIEL, P.; ARRIBAS, A., y SAAVEDRA J.: Geología y metalogenia del yacimiento de estibina-scheelita de "San Antonio" Alburquerque (Badajoz). "Stvdia Geológica", X, 61-93 (1976).

GUTIÉRREZ ELORZA, M., y VEGAS, R.: Consideraciones sobre la estratigrafía y la tectónica del E de la provincia de Cáceres. "Estudios Geológicos", 27, núm. 2, 177-181 (1970).

GUTIÉRREZ ELORZA, M.; HERNÁNDEZ ENRILE, J. L., y VEGAS, R.: Los grandes rasgos geológicos del Sur de la provincia de Badajoz y Norte de la de Huelva. "Bol. Geol. Min.", 82, (3-4), 269-273 (1971).

HERNÁNDEZ PACHECO, F.: Datos geotectónicos de la Extremadura Central. Notas y Comunicaciones del IGME 50 (2) 1958).

IGME: "Memoria de la Hoja núm. 727" (Alburquerque, Badajoz) (1942).

IGME: "Memoria de la Hoja núm. 726" (Pino de Valencia, Cáceres) (1951).

- LOTZE, F.: *Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta*. Geotek. Forsch. (Berlín), 6, 78-92 (1945).
- PARGA, J. R.: *Sistemas de fracturas tardihercínicas del Macizo Hespérico*. Trabajos del Laboratorio Geológico del LAGE, núm. 37 (Coruña), traducción del original "Spätvariszische Bruchsysteme in Hesperischen Massiv". Geol. Rundschau, 59 (1), 323-336 (1969).
- QUESADA GARCÍA, A.: *Falla de desgarre en el SW de la Península Ibérica*. Notas y Comunicaciones del IGME, 58, 163-182 (1960).
- RAMÍREZ RAMÍREZ, E.: *Descripción geológica de la provincia de Cáceres (Datos inéditos)*. Notas para el estudio de la metalogenia extremeña. Notas y Comunicaciones del IGME, 28 (1952).
- RAMÍREZ RAMÍREZ, E.: *El límite Cámbrico-Silúrico en la región suroccidental española*. Breviora Geológica Astúrica (1-4), 47-62 (1963).
- RAMSAY, J. G.: *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill Book. Co. (1967).
- SÁNCHEZ CELA, V., y GABALDÓN LÓPEZ, V.: *Consideraciones petrológicas, estructurales y estratigráficas en la depresión de Peraleda-Valsequillo (Badajoz-Córdoba)*. "Bol. Geol. Min.", 86 (1), 63-72 (1975).
- TURNER, F. J., y WEISS, L. E.: *Structural analysis of metamorphic tectonites*. Mc. Graw-Hill. N. York. London (1963).
- VAUCHEZ, A.: *Etude tectonique et microtectonique d'un secteur de la chaîne hercynienne sud-ibérique: les nappes et plis couchés de la région de Fregenal-Oliva de la Frontera*. Thèse Univ. Sci. et Techn. Languedoc-Montpellier (1974).
- VAUCHEZ, A.: *Tectoniques tangentiellles superposées dans le segment hercynien sud-ibérique: Les nappes et plis couchés de la région d'Alconchel-Fregenal de la Sierra (Badajoz)*. "Bol. Geol. Min.", 86 (6), 573-580 (1975).
- VÁZQUEZ GUZMÁN, F.: *Contribución al estudio de los yacimientos de hierro del Suroeste de España (Parte I)*. "Bol. Geol. Min.", 79 (4) 358-379 (1968).
- VEGAS, R.: *Geología de la región comprendida entre Sierra Morena occidental y las Sierras del N de la provincia de Cáceres (Extremadura española)*. "Bol. Geol. Min.", 82 (3-4), 135-142 (1971).
- VEGAS, R.: *Repartición de las series anteordovicicas del SW de España*. "Bol. Geol. Min.", 85 (2) 157-170 (1974).
- VEGAS, R.: *Las fallas de desgarre del SW de la Península Ibérica*. "Bol. Geol. Min.", 85 (2), 153-156 (1974).
- WEISS, L. E.: *Geometry of superposed folding*. "Geol. Soc. American Bull.", vol. 70, 91-106 (1959).
- WEISS, L. E., y MC. INTYRE, D. B.: *Structural geometry of Dalradian rocks at Loch Leven, Scottish Highlands*. "Jour. Geol.", 65 (1957).
- WILSON, G.: *The tectonic significance of small scale structures, and their importance to the geologist in the field*. Ann. Soc. Geologique de Belgique, T. 84 (1961).

Recibido: 15-3-77.

## Las mineralizaciones paleozoicas de hierro del sector central de la cordillera Ibérica (área de Moncayo).

Por E. ARAGONES VALLS (\*)

### RESUMEN

Los yacimientos de hierro del área de Moncayo están ligados a un nivel estratigráfico (Capas de Jalón, de edad Cámbrico Inferior), y a la discordancia pretriásica.

La morfología de los yacimientos es fisural y a veces estratiforme. El mineral es hematites de aspecto metálico.

El autor propone como hipótesis genética la movilización del Fe contenido en el propio sedimento, y la concentración en trampas estructurales (fracturas) y morfológicas (karst), durante el período de peniplanización post-herciniano.

### ABSTRACT

The Moncayo area iron ores are closely related to a stratigraphic level (Capas del Jalón, Lower Cambrian), and to pre-triassic unconformity.

Morphology of ore bodies is fissural and sometimes stratiform. Iron mineral is metallic hematite.

The writer suggests an ore genesis by mobilization of sedimentary iron and further concentration in structural traps (faults), and morphological traps (karst), during the post-hercynian peneplanation period.

### INTRODUCCION

Los criaderos del área de Moncayo fueron objeto de intensa explotación en el pasado, permaneciendo en actividad actualmente la Mina Santa Rosa, en Tierga.

Con los datos obtenidos en la reciente investigación minera de la zona, llevada a cabo por el

IGME (1973-75), se han elaborado las consideraciones genéticas que se exponen en la presente nota.

### GEOLOGIA REGIONAL

Sobre el Precámbrico esquistoso se deposita en discordancia una sucesión paleozoica predominantemente detrítica de unos 7.000 m. de potencia, que comprende desde el Cámbrico Inferior hasta el Devónico Inferior (fig. 1).

(\*) Compañía General de Sondeos, S. A. Corazón de María, 15. Madrid-2.



EDAD			UNIDAD	LITOLOGIA	POTENCIA (m.)	MINERALIZACIONES DE Fe				
						MINERALIZACIONES SEDIMENTARIAS	YACIMIENTOS ESTRATIFORMES	YACIMIENTOS FISURALES	FILONCILLOS DE GOETHITA	
TRIAS INFERIOR			BUNTSANDSTEIN	Areniscas y limolitas rojas. Conglomerados	200-400	LIMONITA DISEMINA.			YACIMIEN. DE MON- CAYO Y TABUENCA	
DEVONICO	INFERIOR	SIEGEN	FM. NOGUERAS	Calizas y margas	100					
		GEDINN	FM. LUESMA	Areniscas y pizarras	200	OOBITOS Y NODULOS				
SILURICO	SUPERIOR		FM. BADENAS	Pizarras y areniscas	>200					
	INFERIOR	LLANDOVERIENSE	PIZARRA DE GRAPTOLITES	Pizarras	>50					
			CUARCITA LLANDOVERIENSE	Ortocuarcitas	10					
				Areniscas y pizarras	20-60					
ORDOVICICO	SUPERIOR	ASHGI.	CALIZA DE BRIOZOOS	Calizas	5					
		CARAD.	CUARCITA DEL CARADOC.	Areniscas, cuarcitas y pizarras	40					
	MEDIO		CAPAS DE TRISTANI	Pizarras	100	NIVEL BASAL DE OOLITOS				
	INFERIOR	SKIDD.	CUARCITA ARMORICANA	Cuarcitas	300				INDICIOS DE PURROY	
			TREMADOCIEN.	IBERICA	FM. DEHESA	Cuarcitas y pizarras	1.900			INDICIOS DE EL FRASNO
		FM. CORZAS			Pizarras	500				
		FM. BARRERA			Cuarcitas y pizarras	600			INDICIOS DE MALDENAZA	
	SUPERIOR	MEDIO		FM. ACON	Pizarras y cuarcitas	800				
		CAPAS DE MURERO		Pizarras y dolomías	100-250					
	CAMBRICO	INFERIOR		CUARCITA DE DAROCA	Areniscas	60				
			PIZARRAS DE HUERMEDA	Pizarras	80-100			YACIMIEN. DE BOROBIA		
			DOLOMIA DE RIBOTA	Dolomías y pizarras	80-60					
			CAPAS DEL JALON	Limolitas, dolomías , areniscas	150-200	LIMONITA DISEMINA PIRITA SIDERITA	YACIMIEN. DE TIERGA	YACIM. DE OLVEGA		
			CAPAS DE EMBID	Areniscas y limolitas	220-300	PIRITA				
			CUARCITA DE BAMBOLA	Cuarcitas, areniscas, conglomerados	350-400					
PRECAMBRICO			PIZARRAS DE PARACUELLOS	Pizarras , limolitas	>1.500					

Figura 1  
Situación de las mineralizaciones de Fe en la Serie Estratigráfica

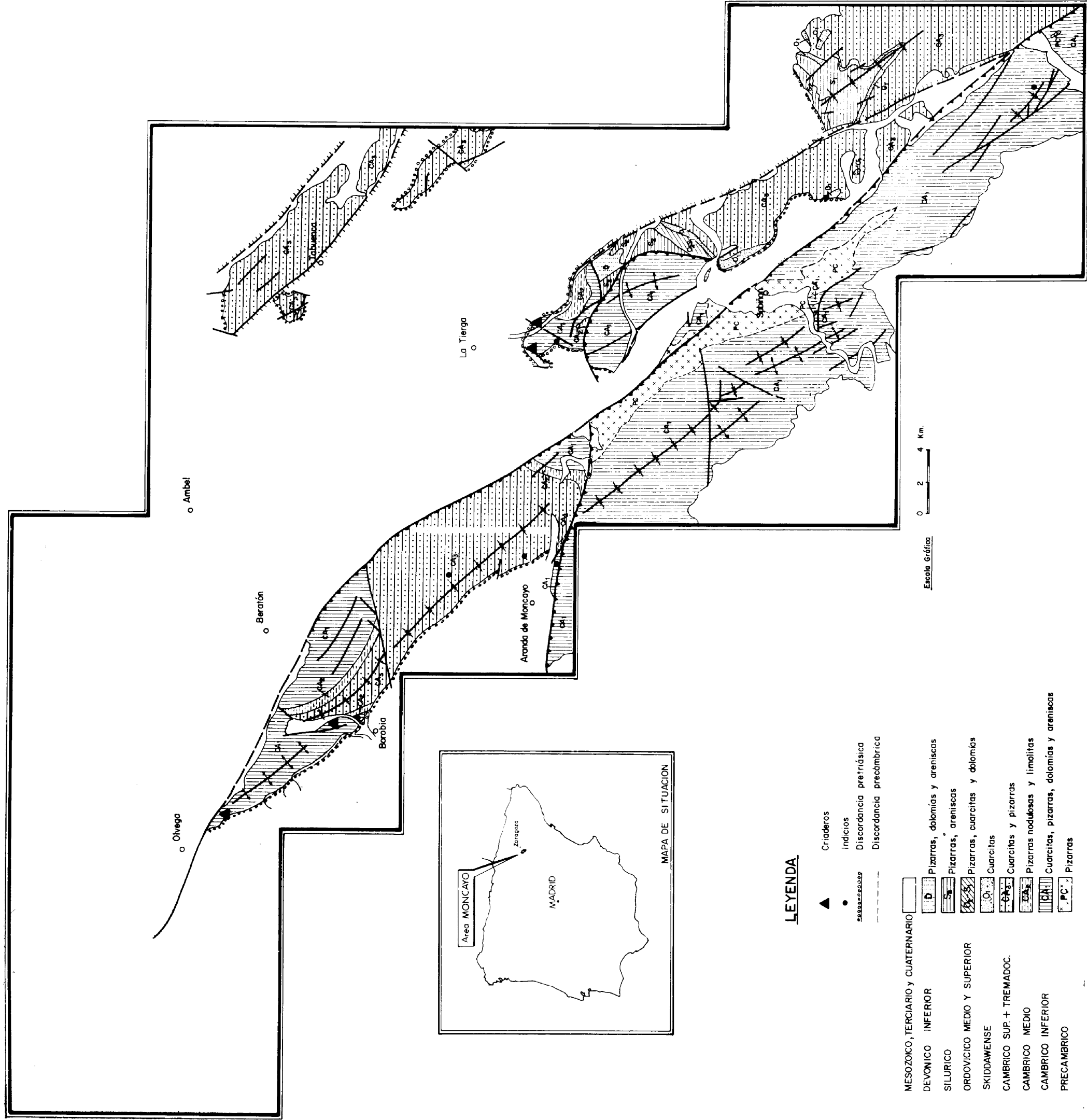


Figura 2



En discordancia angular se superpone el Buntsandstein, en típica facies detrítica roja. El conglomerado basal contiene localmente cantos de oligisto. El paleozoico infrayacente presenta una zona de rubificación a veces de varios metros de espesor, si es pizarroso; y silicificación si es dolomítico.

El Paleozoico se dispone en pliegues de dirección herciniana (NE-SE), ligeramente vergentes al NE, con deslizamientos de cierta importancia. El metamorfismo es incipiente, con recristalización y orientación, pero sin que aparezcan nuevos minerales. No existen rocas ígneas en el área, con la excepción de la diabasa de Codos.

### MINERALIZACIONES SEDIMENTARIAS

Los niveles paleozoicos que contienen Fe sedimentario no constituyen yacimientos explotables. Sin embargo, los criaderos conocidos están relacionados con la unidad "Capas del Jalón", del Cámbrico Inferior, que representa el paso de las facies detríticas basales a las facies carbonatadas de Ribota. Dicha unidad, con una potencia media de 150 m., está constituida por areniscas y limolitas alternantes, con intercalaciones dolomíticas hacia el techo; los colores son rojo y verde característicos. Las estructuras sedimentarias indican un ambiente de plataforma mareal. El Fe se encuentra en forma de pirita, diseminada y cristalizada, en las facies reducidas (fotos 1 y 2); y en forma de matriz arcillosa-limonítica en areniscas y limolitas rojas (fotos 3 y 4). Generalmente, el contenido en Fe es muy bajo, pero en la zona de Tierga existen niveles enriquecidos.

Otro nivel ferruginoso, de pocos cm. de espesor, oolítico, existe a techo de la Cuarcita Armoricana. Asimismo se han localizado niveles con oolitos e incrustaciones limoníticas en el Devónico Inferior.

### YACIMIENTOS

Con un volumen comprendido entre 1 y 5 millones de Tm. existen en el área los yacimientos de Tierga, Borobia y Olvega. El mineral es hematites, de aspecto metálico (foto 5), asociada a siderita en Olvega y Tierga, y a cuarzo, en Borobia. Localmente existe goethita rellenando cavidades y sustituyendo a otros minerales (foto 6).

La morfología de los yacimientos es fisural en Olvega y Borobia, y estratiforme, en Tierga. Este

y el de Olvega arman a techo de la unidad "Capas de Jalón". En Borobia, el mineral está localizado en una fractura, encajando en Jalón, Ribota, Huérmeda y Daroca.

Todas las mineralizaciones arman inmediatamente por debajo de la discordancia pretriásica (figs. 2 y 3) y se estrechan y desaparecen en profundidad.

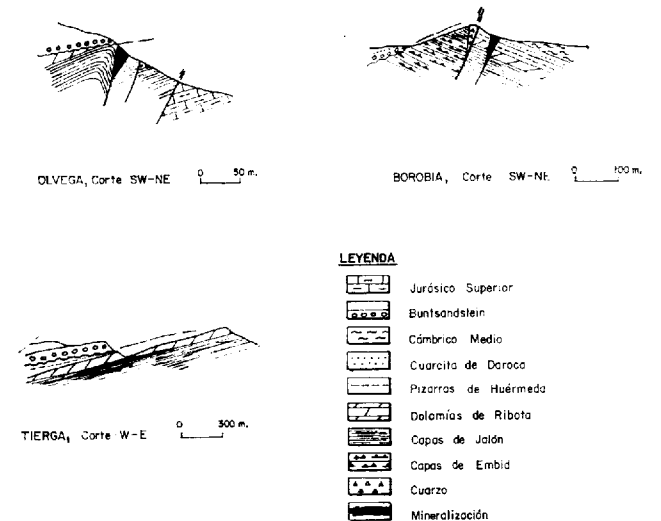


Figura 3  
Esquema de las principales mineralizaciones

Otras mineralizaciones, de escaso interés económico, consistentes en pequeñas bolsadas y filoncillos de limonita asociada a cuarzo cristalino, arman en el Tremadociense de la zona de Valdenaza.

### ORIGEN

La relación geométrica que existe entre los yacimientos y la discordancia pretriásica, así como la morfología de los mismos, sugiere la concentración del Fe en trampas estructurales (fracturas) y morfológicas (karst) a partir de procesos hidrogeológicos.

El control que la unidad "Capas de Jalón" ejerce sobre las mineralizaciones parece indicar una procedencia local del Fe, a partir de la propia roca encajante.

La edad de la mineralogénesis es postherciniana, puesto que algunos yacimientos arman en trampas estructurales hercinianas; y debe de ser también pretriásica, ya que el conglomerado basal del Bunt contiene cantos de mineral en las proximidades de los yacimientos.



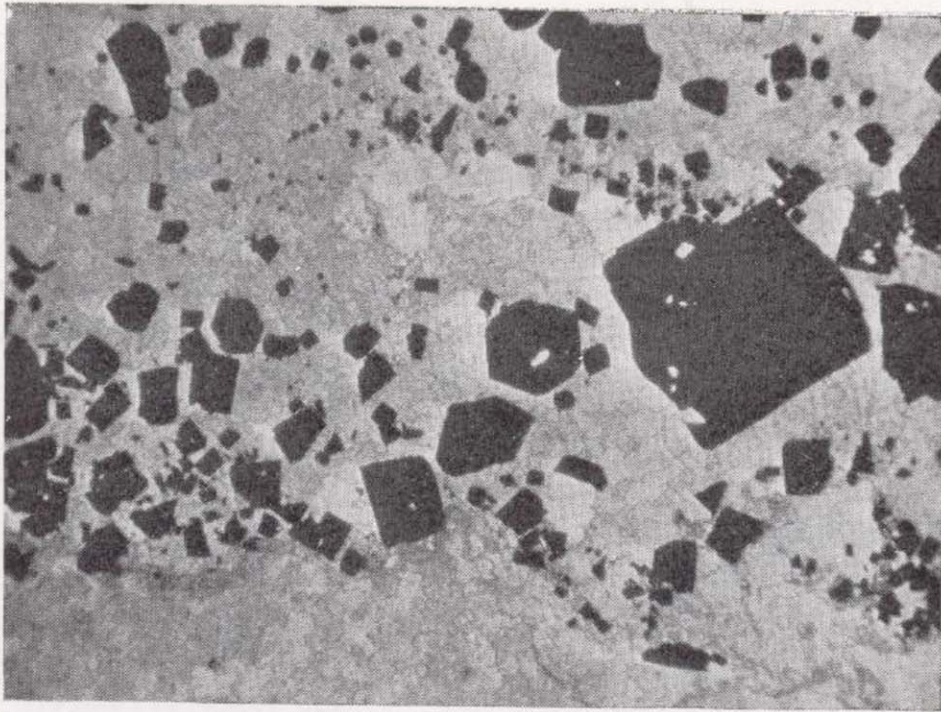


Foto 1

Cristales de pirita en dolomita. Capas de Jalón. Lámina delgada

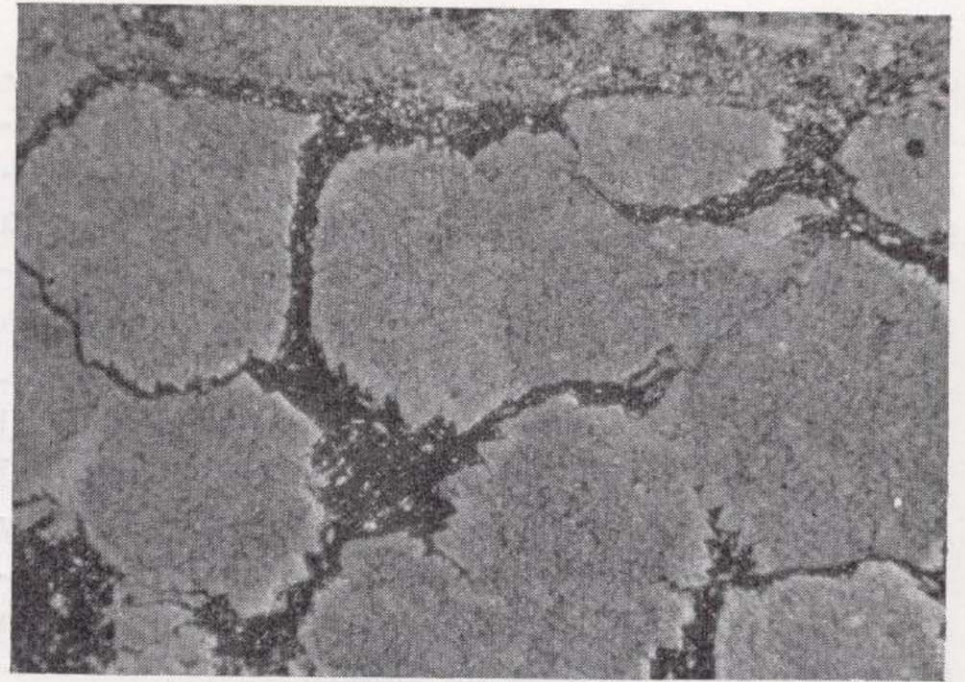


Foto 4

Dolomía con óxidos de Fe en los espacios intercristalinos. Lámina delgada

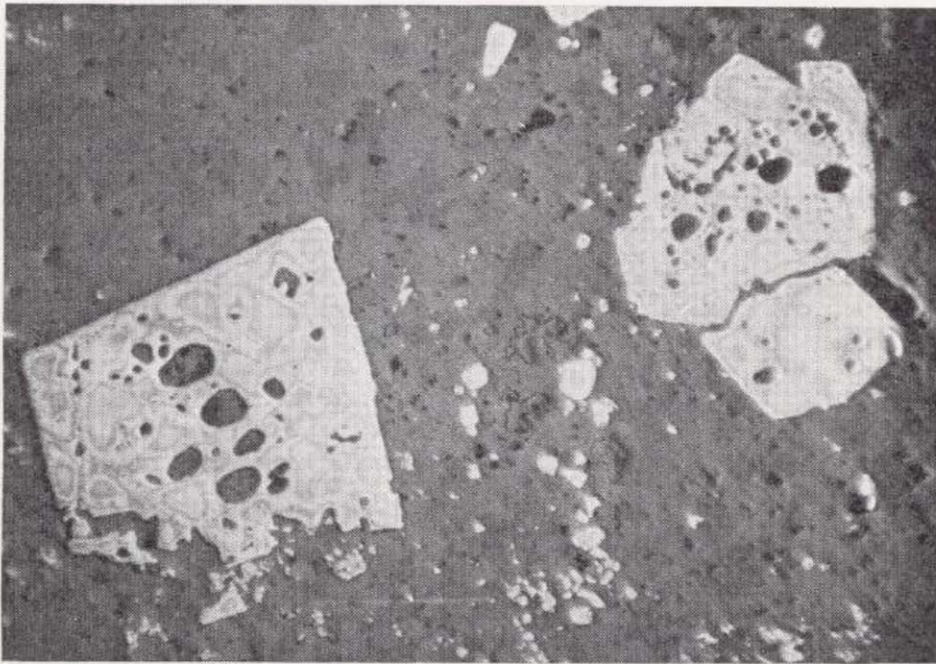


Foto 2

Pirita parcialmente oxidada. La limonita está a su vez reemplazada por carbonato cálcico microcristalino. Sección pulida



Foto 5

Hematites microcristalina de reemplazamiento. Sección pulida

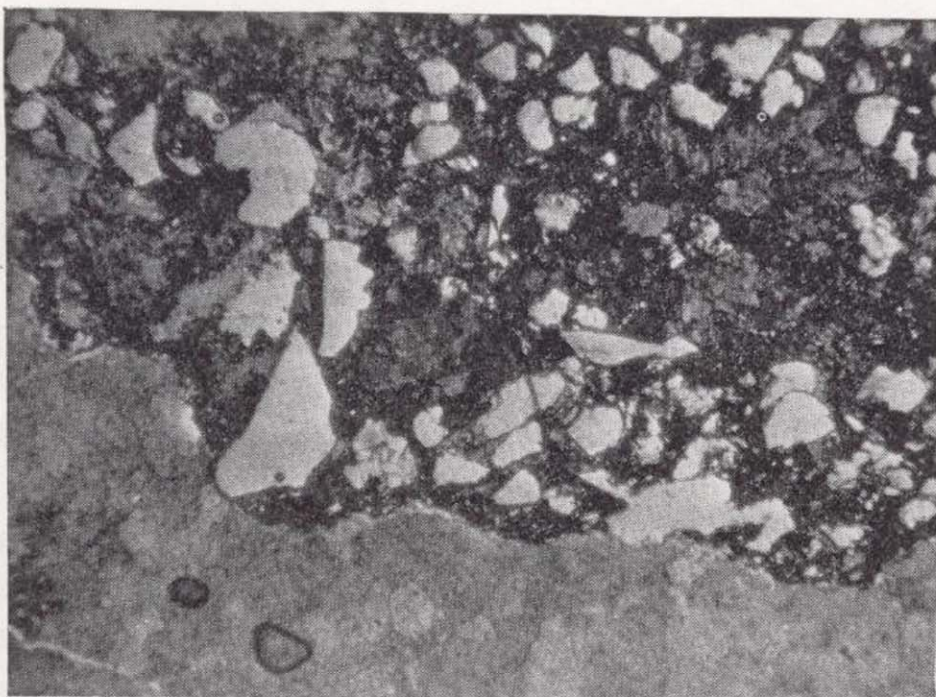


Foto 3

Arenisca de matriz limonítica. Lámina transparente

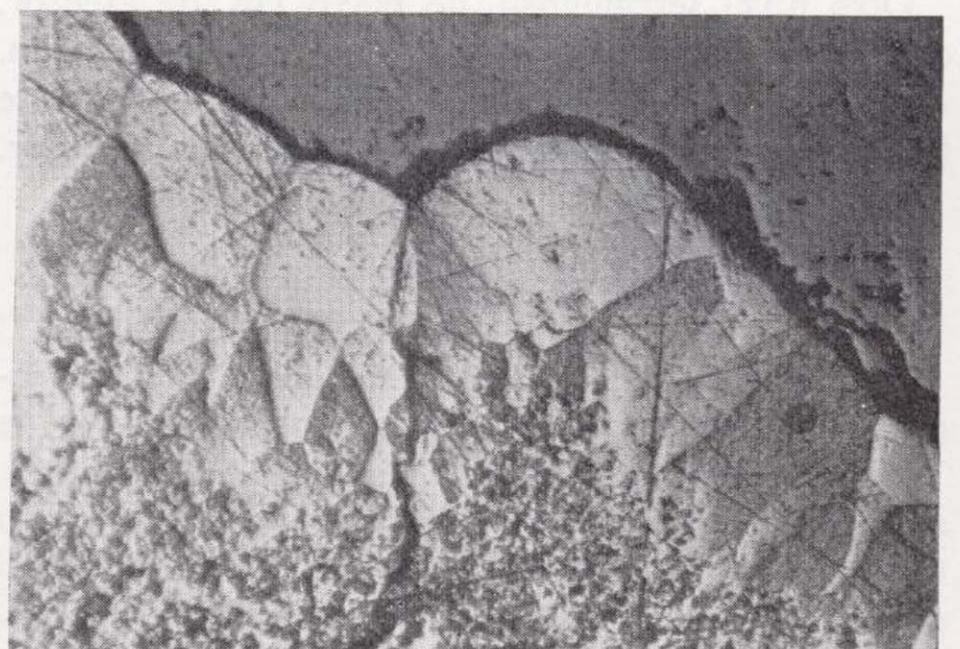


Foto 6

Limonita (goethita) fibroso-radiada y de reemplazamiento. Sección pulida



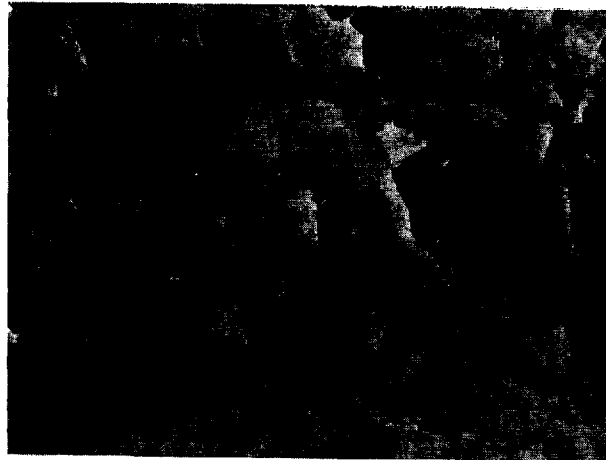


Foto 1

Cristales de pirita en dolomita. Capas de Jalón. Lámina delgada

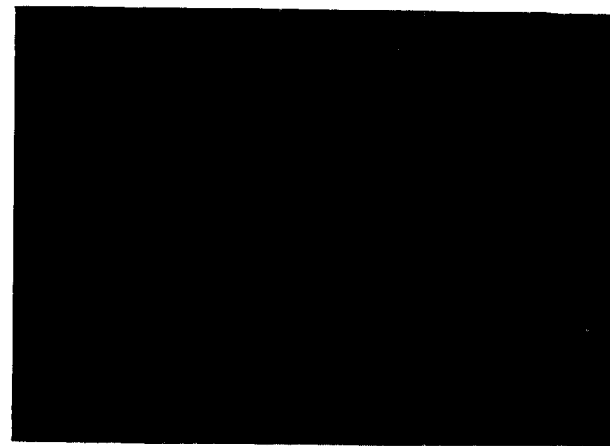


Foto 4

Dolomía con óxidos de Fe en los espacios intercristalinos. Lámina delgada

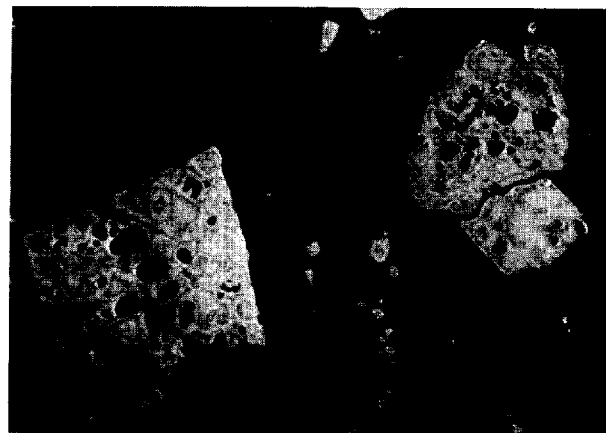


Foto 2

Pirita parcialmente oxidada. La limonita está a su vez reemplazada por carbonato cálcico microcristalino. Sección pulida

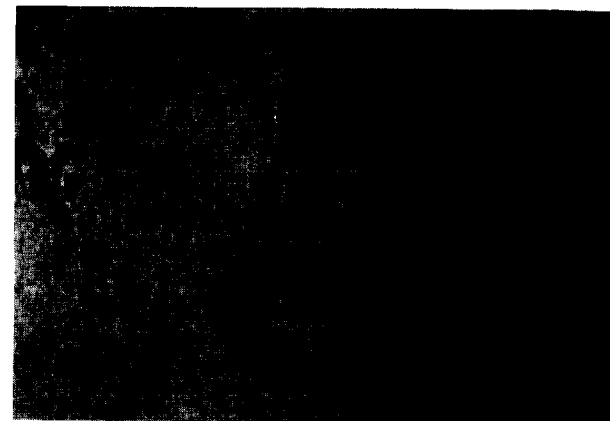


Foto 5

Hematites microcristalina de reemplazamiento. Sección pulida

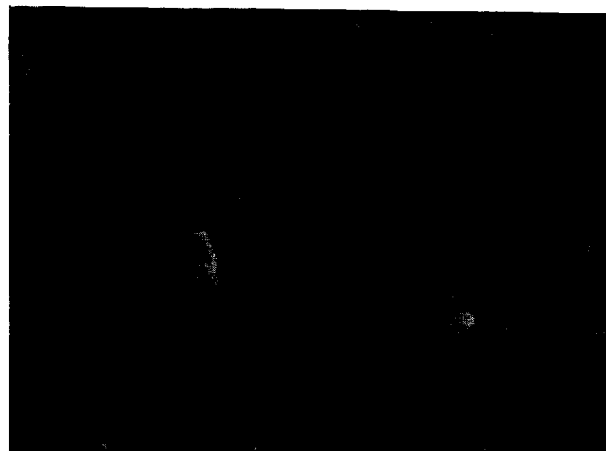


Foto 3

Arenisca de matriz limonítica. Lámina transparente

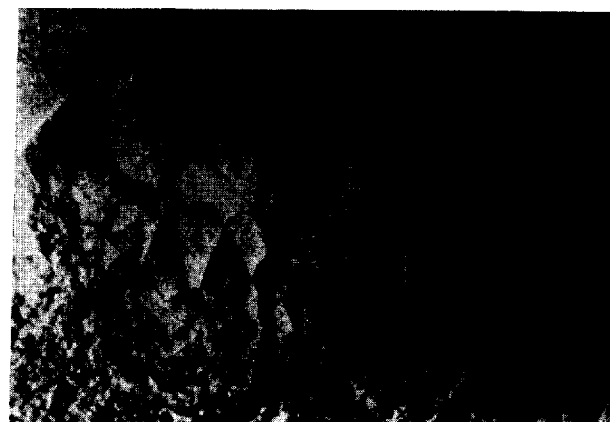


Foto 6

Limonita (goethita) fibroso-radiada y de reemplazamiento. Sección pulida

## CONSECUENCIAS

De acuerdo con la hipótesis expuesta, las posibilidades del área en cuanto a nuevos yacimientos de Fe se reducen a la búsqueda de mineralizaciones del tipo Ojos Negros en los paleoaflorescimientos de la Dolomía de Ribota en la base del Trías.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Dr. Antonio Arribas la lectura crítica del manuscrito, y al IGME, las facilidades concedidas para su publicación.

## BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, M.: *Nuevas orientaciones sobre la génesis de yacimientos de hierro y su repercusión en la investigación*. "Act. Jorn. Minero-Metal, de Cartagena, 1971". A. N. I. M., ed. Madrid (1972).

CAÑADA, F.: *Sobre la génesis de algunos yacimientos de óxidos y carbonatos de hierro*. "Not. Com. IGME", Madrid, n. 87, pp. 91-96 (1966).

C. G. S., S. A.: *Estimación del potencial minero en el subsector VII Centro Levante. Area 4, Moncayo*. IGME, inédito (1975).

JAMES, H. L.: *Sedimentary facies of iron formation*. "Econ. Geol.", n. 49, pp. 235-293 (1954).

LOTZE, F.: *Stratigraphie und tektonik des keltiberischen grundgebirges (Spanien)*. "Abh. Ges. Wiss. Gött. Math-Phys Kl". N. F., t. 14, n. 2, pp. 1-320, Berlín (1929).

— —: *El Cámbrico en España*. "Mem. IGME", Madrid, n. 75, 256 pp (1970).

MARTÍN FERNÁNDEZ, M., y ESNAOLA GÓMEZ, J. M.: *Hoja 24-14 Olvega*. Mapa Geol. Nac. 1: 50.000, IGME. Madrid (1972).

MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A., y DÍAZ GONZÁLEZ, S.: *Estudio de las mineralizaciones de hierro de las inmediaciones del lago "La Cueva", en la región de los lagos de Saliencia (Somiedo, Oviedo)*. "Bol. Geol. Min. IGME", Madrid, t. 86, n. 5, pp. 498-504 (1975).

MINGARRO MARTÍN, F.: *Rocas y yacimientos exógenos de hierro*. "Bol. Geol. Min. IGME", Madrid, t. 81, n. 4, pp. 369-377 (1970).

OLMO, P.; HERNÁNDEZ, A.; ARAGONÉS, E.; AGUILAR, M., y RAMÍREZ DEL POZO, J.: *Hoja 25-14, Tabuena*. Mapa Geol. Nac. 1:50.000, IGME. En prensa (1975).

— — —: *Hoja 25-25, Illueca*. Mapa Geol. Nac. 1:50.000, IGME. En prensa (1975).

RIVED, F.: *Los hierros de la cuenca del río Isuela (Zaragoza)*. "Bol. Ofic. de Minas y Metal". Madrid, t. 6, n. 65, pp. 3-27 (1922).

Recibido: Marzo 1977.

Algunos aspectos relativos a la calidad del agua en acuíferos subterráneos carbonatados

Por J. GARRIDO BLASCO (\*) y R. FERNANDEZ-RUBIO (\*\*)

RESUMEN

Se consideran diferentes aspectos relativos a la calidad química de las aguas, en acuíferos ligados a materiales carbonatados, desde un punto de vista experimental, y en su aplicación a aguas del macizo kárstico de Sierra Arana (Granada). Se pone en evidencia que la disolución está fundamentalmente condicionada por la concentración de ácido carbónico y depende de la presión parcial del CO<sub>2</sub> en el acuífero.

Se constatan los siguientes hechos: la variabilidad de la composición química de estas aguas, aun en acuíferos de litología homogénea; el mayor valor de la relación Ca/Mg en las aguas que en la roca; y el papel que juega la presión parcial de CO<sub>2</sub> en el acuífero, como indicador de ciertas características químicas de sus aguas.

RESUME

On considère différents aspects relatifs à la qualité chimique des eaux, en aquifères liés à des matériaux carbonatés, du point de vue expérimental, et à leur applications des eaux du massif karstique de Sierra Arana (Grenade). On constate que la dissolution est fondamentalement conditionnée par la concentration d'acide carbonique et dépend de la pression partielle du CO<sub>2</sub> dans l'aquifère.

Même dans des aquifères de lithologie homogène les eaux montrent des variations de composition chimique en rapport avec les facteurs ci-dessus évoqués. L'on a aussi constaté que le rapport Ca/Mg a une valeur plus haute dans les eaux que dans la roche. Il est enfin souligné l'intérêt qu'a la pression partielle de CO<sub>2</sub> comme indicateur de certains caractères chimiques des eaux.

1. INTRODUCCION

La escasez de agua por la que atraviesa frecuentemente el Sur de España, y los consiguientes problemas de suministro, tanto a poblaciones como a la agricultura, potencian cada día más el interés de la explotación de acuíferos subterráneos, cuya utilización racional puede resolver satisfactoriamente, en muchos casos, la falta de este elemento.

Por ello al ser abundantes las formaciones permeables en el subsuelo de los ámbitos béticos, y presentar la mayoría de ellas buenas condiciones estructurales para constituir grandes embalses subterráneos, es lógico esperar que, en un futuro próximo,

(\*) Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Sevilla.

(\*\*) Grupo de Trabajo de Hidrogeología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

mo, estas reservas naturales sean intensamente aprovechadas.

Frente a estos aspectos positivos, puede existir el riesgo de encontrar aguas cuya calidad limite, e incluso impida, su utilización.

Predecir la calidad del agua, en un punto concreto del acuífero, es todavía difícil, aunque no totalmente imposible, y el margen de fiabilidad es función directa de las posibilidades de tomar muestras. Pero, en muchos casos, esta toma de muestras implica la realización de obras de captación, con los consiguientes gastos y demora en la predicción.

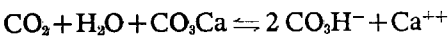
Por otra parte, los modelos matemáticos de calidad adolecen del mismo problema, agravado con la necesidad de contar previamente con un modelo de flujo, que refleje adecuadamente el comportamiento dinámico del acuífero. Estos modelos tampoco

puede decirse que sean la solución del problema, dado que sus predicciones se fundamentan en que la calidad, en un punto, es función de la mezcla de aguas de distinta calidad, sin tener en cuenta las condiciones y efectos químicos de la roca almacén.

En esta nota vamos a considerar algunos aspectos referentes a la calidad química de un acuífero en materiales carbonatados.

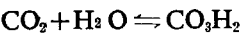
2. CONSIDERACIONES GENERALES

En la disolución de las rocas carbonatadas tiene lugar una importante reacción que, simplificada, es:

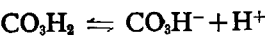


El carbonato cálcico (o magnésico) pasa a disolución, en forma de bicarbonato, por la acción del CO<sub>2</sub> disuelto en el agua. De derecha a izquierda, esta reacción esquematiza la precipitación del carbonato, con desprendimiento de CO<sub>2</sub>.

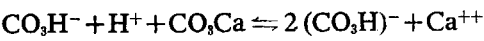
Pero el auténtico responsable de la disolución de los carbonatos no es propiamente el CO<sub>2</sub>, sino el ácido que se origina cuando este gas se disuelve en agua, y cuya formación esquematiza la siguiente reacción:



Su primera protonización libera los productos siguientes



que al reaccionar con los carbonatos darían:



Vemos, pues, que los carbonatos se solubilizan en forma de bicarbonatos, y su concentración estará condicionada a la cantidad de CO<sub>2</sub> que se solubilice, la cual, como en todo gas, será directamente proporcional a la presión parcial que ejerza sobre el medio circundante.

Estas reacciones nos sirven como introducción en el intento de esclarecer un caso concreto de calidad, en las aguas que drenan a un macizo de calizas dolomíticas, del Trías superior, que se localiza en Sierra Arana (provincia de Granada).

La composición química del material acuífero, según análisis efectuados en el Laboratorio Regional del IRYDA en Sevilla, sobre diez muestras, arrojan los siguientes valores medios:

Densidad ... ..	2,719	gr/cm <sup>3</sup>
Insolubles al ácido ... ..	0,00	%
CO <sub>3</sub> Ca ... ..	51,37	%
CO <sub>3</sub> Mg ... ..	48,62	%
Ca/Mg ... ..	1,05	%

Podemos, por tanto, considerarlas como calizas dolomíticas.

Sin embargo, las aguas que drenan esta formación, recogidas en el Canal del Fardes llamado de "Prado Negro", inventariado por la FAO como el punto 61 de la Hoja 1010, dan la siguiente composición química:

CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	4,08 meq/l	Na <sup>+</sup>	0,04 meq/l
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	0,00 "	K <sup>+</sup>	0,02 "
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,00 "	Ca <sup>++</sup>	2,90 "
Cl <sup>-</sup>	0,13 "	Mg <sup>++</sup>	1,32 "
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,00 "		

Conductividad eléctrica	
a 25° C ... ..	0,38 μmho/cm
pH ... ..	7,5
Residuo seco a 150° C.	329,6 mg/l
H <sup>+</sup> ... ..	3,1 × 10 <sup>-8</sup> moles/litro
CO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> ... ..	42 × 10 <sup>+5</sup> moles/litro

Lo que supone una relación Ca/Mg de 2,19, dos veces superior a la relación de estos mismos cationes en la roca del acuífero, sin que encontrásemos otras sales que pudiesen alterarla.

Esta anomalía se ha pretendido explicarla por la diferencia de reaccionabilidad que presentan las calizas y dolomías frente al ácido carbónico, único que podía existir en el acuífero.

3. DATOS EXPERIMENTALES

3.1. PROCESO SEGUIDO

La experiencia para aclarar los hechos anteriores, se planteó mediante el ataque de muestras de calizas dolomíticas, recogidas en las proximidades del manantial, con distintas disoluciones saturadas a diferentes presiones de CO<sub>2</sub>, ataque que se mantuvo hasta que el pH permaneció invariable. Una vez alcanzado el equilibrio, se filtraron las suspensiones, y se determinó el pH, CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>, conductividad eléctrica, calcio y magnesio.

Para ello, se preparó primero una disolución sa-



turada de CO<sub>2</sub> en agua destilada hervida, mediante burbujeo de CO<sub>2</sub> gaseoso, a través de dicha agua, con una presión constante del gas en el recipiente.

Una vez saturada la disolución se midió el pH de saturación, y con ella se prepararon disoluciones según las concentraciones de CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub> elegidas para desarrollar la experiencia. Estas concentraciones fueron 100×10<sup>-5</sup>; 70×10<sup>-5</sup>; 50×10<sup>-5</sup>; 30×10<sup>-5</sup>; 20×10<sup>-5</sup>; 10×10<sup>-5</sup> y 1,2×10<sup>-5</sup> moles/litro de CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>, que corresponden a presiones parciales de CO<sub>2</sub> de 256×10<sup>-4</sup>; 179×10<sup>-4</sup>; 128×10<sup>-4</sup>; 75×10<sup>-4</sup>; 51,2×10<sup>-4</sup>; 25×10<sup>-4</sup>; y 3×10<sup>-4</sup> atmósferas. Estos valores de presión parcial del CO<sub>2</sub>, son los correspondientes a un intervalo que varía desde la presión parcial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (aproximadamente 3×10<sup>-4</sup>), hasta un valor ochenta veces superior. La experimentación se ha realizado a 20° C.

Los resultados de la experiencia se recogen en el cuadro siguiente.

Experiencia núm.	Presión CO <sub>2</sub> 20° atmosf.	Concentración (CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) moles/litro	pH	CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> meq/l	Ca <sup>++</sup> meq/l	Mg <sup>++</sup> meq/l	Ca <sup>+++</sup> Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>	mo/cm C. E. 25° C	R. S. mgr/l	(H <sup>+</sup> )
1	256 · 10 <sup>-4</sup>	100 · 10 <sup>-5</sup>	7,29	5,95	4,62	1,27	5,90	3,62	0,51	470	5,04 · 10 <sup>-8</sup>
2	179 · 10 <sup>-4</sup>	70 · 10 <sup>-5</sup>	7,40	5,26	3,93	1,28	5,22	3,07	0,48	415	3,98 · 10 <sup>-8</sup>
3	128 · 10 <sup>-4</sup>	50 · 10 <sup>-5</sup>	7,48	4,57	3,29	1,29	4,59	2,54	0,42	360	3,28 · 10 <sup>-8</sup>
4	109 · 10 <sup>-4</sup>	30 · 10 <sup>-5</sup>	7,60	3,68	2,41	1,18	3,59	2,04	0,353	286	2,51 · 10 <sup>-8</sup>
5	25 · 10 <sup>-4</sup>	20 · 10 <sup>-5</sup>	7,74	3,35	2,16	1,23	3,40	1,76	0,33	262	1,8 · 10 <sup>-8</sup>
6	51,2 · 10 <sup>-4</sup>	10 · 10 <sup>-5</sup>	7,92	2,50	1,45	1,01	2,46	1,45	0,27	194	1,2 · 10 <sup>-8</sup>
7	3 · 10 <sup>-4</sup>	1,25 · 10 <sup>-5</sup>	8,5	1,25	0,65	0,55	1,20	1,18	0,164	95,9	0,31 · 10 <sup>-8</sup>

2.3. COMENTARIO A LOS RESULTADOS.

Como puede verse en el cuadro anterior, la relación Ca/Mg crece con la presión de CO<sub>2</sub> en la disolución; así tenemos valores que varían de 1,18 hasta 3,62, y es de interés destacar que, mientras la concentración de magnesio permanece prácticamente constante, la del calcio aumenta rápidamente.

Lo mismo ocurre con el residuo total de sales disueltas, cuyo aumento se refleja claramente en las conductividades de las distintas disoluciones.

Los bicarbonatos también aumentan al hacerlo la presión de CO<sub>2</sub>, y su contenido en meq/litro coincide con la suma de calcio más magnesio.

La conductividad eléctrica específica de ellas

$$\frac{\text{CO}_3\text{H}^- + \text{Ca} + \text{Mg}}{2 \times \text{C.E.}}$$

correspondiente a cada una de las concentraciones encontradas, indica la no existencia de otras sales en disolución, al menos en concentraciones detectables por nuestros métodos analíticos ("Análisis de suelos y aguas", Boletín FAO núm. 10).

Si aplicamos la ecuación que define la primera constante de ionización del ácido carbónico.

$$K_1 = \frac{(\text{CO}_3\text{H}^-) \times (\text{H}^+)}{(\text{CO}_3\text{H}_2)}$$

y despejamos de ella la concentración de CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>, tendremos:

$$\text{CO}_3\text{H}_2 = \frac{(\text{CO}_3\text{H}^-) \times (\text{H}^+)}{3 \times 10^{-7}}$$

Si operamos con la concentración de hidrogeniones y bicarbonato, encontrados en los valores experimentales, podemos comprobar la concentración

de carbónico a la que se trabajó en la experiencia. Por ejemplo: en la número 3 tenemos un valor de bicarbonato de 4,57×10<sup>-8</sup> moles/litro, y de hidrogeniones según pH 3,28×10<sup>-8</sup>: la ecuación sustituida quedaría en este caso

$$\text{CO}_3\text{H}_2 = \frac{4,57 \times 10^{-8} \times 3,28 \times 10^{-8}}{3 \times 10^{-7}}$$

cuyo resultado es de 49,96×10<sup>-5</sup> moles/litro, que coincide prácticamente con el de la disolución preparada de 50×10<sup>-5</sup> moles/litro.

4. ANALISIS DEL AGUA DRENADA POR EL ACUIFERO

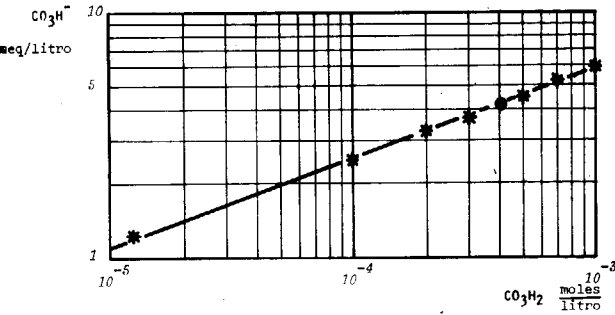
Del resultado analítico del agua drenada extraemos los datos que compararemos con los experimentales:

Muestra	C. E. 2° C	pH	(CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ) moles/l	Presión CO <sub>2</sub> (atmós.)	Residuo mgr/l	CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> meq/l	Ca <sup>++</sup> meq/l	Mg <sup>++</sup> meq/l	Ca <sup>++</sup> /Mg <sup>++</sup>
Agua drenada.	0,38	7,5	42 · 10 <sup>-5</sup>	107,6 · 10 <sup>-4</sup>	329,6	4,08	2,9	1,32	2,19

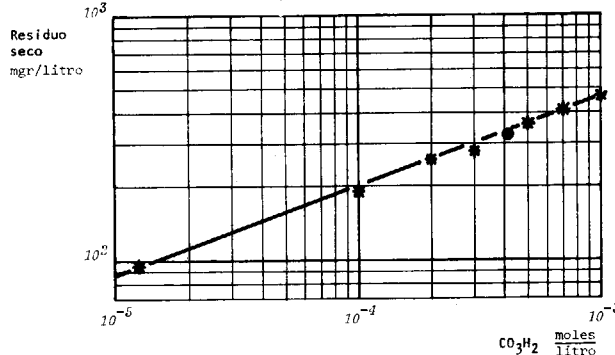
Vemos que la concentración de CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub> es de 42×10<sup>-5</sup> moles/litro, valor que se encuentra entre los de la tercera y cuarta experiencia, lo mismo ocurre con la relación Ca/Mg; concentración de bicarbonato; pH; residuo sólido; y conductividad eléctrica.

Esto nos indujo a pensar que todos estos parámetros de concentración, podían relacionarse mediante una ecuación matemática. La comprobación la tuvimos en la representación gráfica, en papel doble logarítmico, donde pudimos comprobar la alineación de puntos para las siguientes parejas de variables:

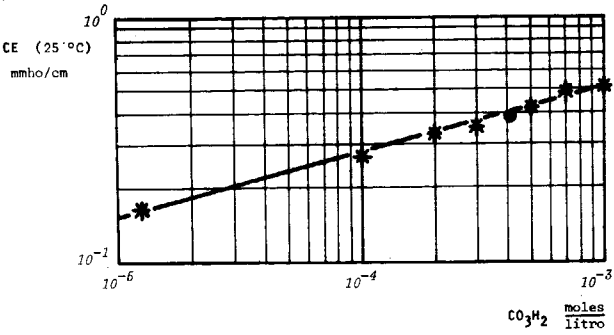
- CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>2H<sup>-</sup> (gráfica núm. 1).
- CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub> (Residuo seco) (gráfica núm. 2).
- CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub> (Conductividad) (gráfica núm. 3).



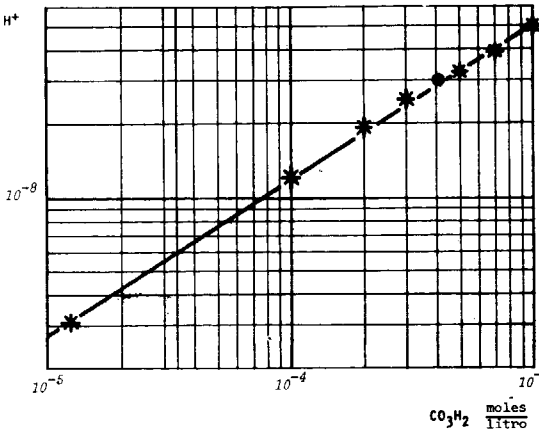
Gráfica n° 1. Variación del bicarbonato, en función de la concentración de ácido carbónico.



Gráfica n° 2. Variación del residuo seco, en función de la concentración de ácido carbónico.



Gráfica n° 3. Variación de la conductividad eléctrica, en función de la concentración de ácido carbónico.



Gráfica n° 4. Variación de la concentración de hidrogeniones, en función de la concentración de ácido carbónico.

CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub> (Concentración de hidrogeniones) (gráfica número 4).

En papel normal se representó la relación Ca/Mg (CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>) (gráfica núm. 5).

La alineación rectilínea de los puntos representados en papel doble logarítmico permite obtener, con facilidad, la expresión matemática que liga las variables, y al mismo tiempo permite comprobar que los puntos correspondientes al análisis del agua drenada se alinean con los experimentales, lo cual confirma que el fenómeno de la disolución de estas calizas dolomíticas está condicionado fundamental-

mente por la concentración del ácido carbónico, y depende de la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en el acuífero.

### 5. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales obtenidos nos permiten enunciar las siguientes conclusiones.

1. En acuíferos de rocas carbonatadas cálcico-magnésicas, la composición química de las aguas subterráneas puede ser distinta en los diferentes puntos, aunque el material sea homogéneo en toda la extensión del acuífero.

2. La relación  $\text{Ca/Mg}$  será superior en las aguas drenadas que en la roca almacén, y puede variar de un punto a otro del acuífero.

3. La presión parcial de  $\text{CO}_2$  en el acuífero, es el condicionante de estas diferencias y, a su vez, su conocimiento puede servir como parámetro indicador de ciertas propiedades que varíen de un punto a otro, por homogéneo que sea el acuífero en otros parámetros, tales como composición química, porosidad, transmisividad, velocidad de circulación, etc.

Su representación en mapas, permitiría establecer las áreas en donde pudiesen llevarse a cabo captaciones de agua de mejor calidad, con respecto a los componentes aquí analizados.

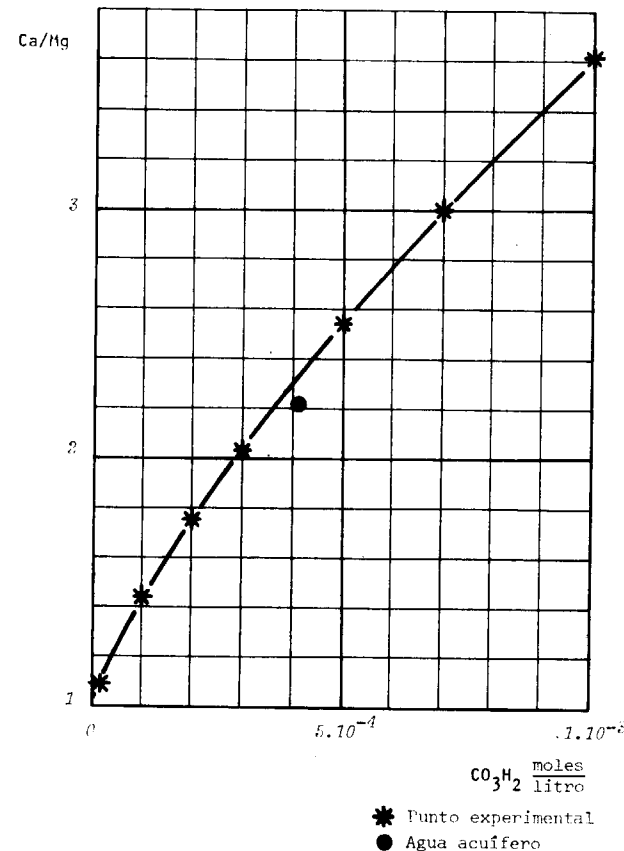


Gráfico nº 5. Variación de la relación  $\text{Ca/Mg}$ , en función de la concentración de ácido carbónico.

### AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud al Dr. Eraso, por la revisión del texto y las sugerencias aportadas.

Recibido: Octubre 1977.

## El concepto de arcilla. La problemática de su definición y clasificación

Por A. PULGAR DIAZ (\*)

### RESUMEN

Se efectúa una exposición histórica del concepto de arcilla y de su evolución hasta llegar al concepto mineralógico de arcilla. Se hace notar la problemática de una exacta definición del término "arcilla", así como la de su clasificación.

### SUMMARY

One has shown a historical exposition of term "CLAY" and its evolution until arriving at the mineralogic term of clay one has note of an exact definition and classification of the term "CLAY".

### I. CONCEPTO Y DEFINICION

Cuando se efectúan estudios de los diferentes tipos de materiales arcillosos que componen los suelos, yacimientos y rocas, es conveniente recordar la evolución del concepto de arcilla, y lo difícil que resulta, incluso hoy, definir exactamente lo que es un material arcilloso, a pesar de haberse llegado a un concepto mineralógico del mismo.

La arcilla es familiar a muchos científicos, pero el significado de la palabra depende, sobre todo, de la disciplina en la que el científico se desenvuelve. De este modo, el alfarero, el labrador, el ingeniero, el geólogo y el mineralogista, no definen de la misma manera la arcilla, aunque hay fundamentalmente mucho de común entre ellos. En el caso de materiales de uso muy extendido, siempre existen definiciones vulgares y fenomenológicas que compiten con otras definiciones técnicas más rigoristas. Por ejemplo, una de las definiciones más simples y más empleada vulgarmente es la siguiente: "el caolín es una arcilla blanca muy pura".

Entre los antiguos, las arcillas se incluían bajo el rango del término "tierras", que se la consideraba

como uno de los cuatro elementos, teniendo la propiedad de secar y enfriar (absorben agua y son refractarias).

Las primeras teorías sobre la naturaleza de la arcilla, fueron de tipo dualista, pues se consideraba que la diferencia entre "Kaolín" y las demás arcillas podía explicarse por la presencia de impurezas. La palabra "Kaolín" proviene de una interpretación inglesa de la expresión china "dique alto", zona donde se encontraban los grandes depósitos de caolín en China. De acuerdo con este concepto, los minerales arcillosos estaban compuestos de caolinita y frecuentemente, ésta estaba combinada con otros minerales considerados como "impurezas". Se creía entonces que la caolinita era la esencia de todas las arcillas.

Otra idea ampliamente extendida en otro tiempo, consideraba al componente esencial de las arcillas como un "colide complejo" y se creía que todo ese material coloidal era amorfo. Parte de ese complejo coloidal era inorgánico y parte orgánico, si el mineral arcilloso contenía materia orgánica.

VAN BEMMELE (1) y STREMMER (2) dividían la fracción coloidal en dos partes, una soluble en ácido clorhídrico, que llamaron "Alofanetón", con otra parte no soluble en ácido clorhídrico, pero sí en ácido sulfúrico, llamada "Kaolinton". El "Alofane-

(\*) Departamento de Química. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Oviedo.



ton", muy coloidal y de composición variable, era el principal responsable de la plasticidad y de las propiedades absorbentes de los materiales arcillosos. El "Kaolinton", también amorfo, contenía, a veces, materiales cristalinos.

MELLOR (3) y SEARLE (4), también desarrollaron esta idea de dos componentes esenciales de la arcilla. Uno, llamado "Clayita", era la sustancia arcillosa genuina de los caolines y se la consideraba como amorfa y con la misma composición química aproximada que la caolinita. El otro componente, con el nombre de "Pelinita", era la verdadera sustancia arcillosa en minerales distintos de los caolines. Su última opinión fue que una arcilla es un material amorfo de composición variable, pero generalmente de más alto contenido en sílice que la "Clayita" y también con una apreciable cantidad de alcalinos y alcalino-térreos.

WIEGNER (5) en extensos estudios examinando la propiedad del cambio de cationes, dedujo que el cambio se efectuaba en tres zonas: a) Un núcleo, b) una capa de aniones externos al núcleo, pero situados en contacto con él y c) una zona de cationes cambiables atraídos por los aniones. El núcleo se consideraba principalmente como un hidroc compuesto de aluminio y silicio de composición variable y de estructuras desconocidas. Como se puede observar, se sigue sin tratar a la arcilla en un verdadero sentido mineralógico. GEODRIZ (6), en sus amplios estudios sobre cambio de cationes, considera a las ceolitas como un material complejo y por tanto, las propiedades de las ceolitas no se consideraban debidas a una precisa composición o estructura.

Considerados estos conceptos históricos que sobre las arcillas se han tenido, vamos a transcribir las diferentes definiciones que sobre ellas y a lo largo de su investigación se han dado. Llegamos a darnos cuenta de lo complejo que resulta dar una definición exacta, cuestión todavía no resuelta hasta la fecha.

Probablemente, la definición más antigua de arcilla fue dada por AGRÍCOLA (7) en 1546: "Una "tierra" es un material simple que puede ser trabajado con las manos cuando está húmedecido y cuya masa puede ser moldeada cuando está saturada de agua".

Una definición que aún persistió, como fue puesto en evidencia en la dada por GRIM (8) en 1953, "En general el término arcilla implica un material terroso, de grano fino y que presenta plasticidad cuando se mezcla con una cantidad limitada de agua", que

es virtualmente la de Agrícola. Similar definición fue dada por GEIKIE (9) en 1886: "Arcilla es una sustancia aluminosa de grano fino, que contiene agua intersticial y cuando se humedece puede ser amasada con los dedos. Cuando está seca es blanda y se adhiere a la lengua".

DANA (10) en 1888 define la arcilla como "Un material blando, impalpable, más o menos plástico", y GEIKIE (11) en 1905 afirma que "Las arcillas son agregados de una materia mineral muy finamente dividida, que se vuelven plásticas cuando se humedecen".

Uno de los más antiguos estudiosos, que asocian la definición de arcilla con el tamaño de partícula fue KIZWAN (12) en 1974, cuando comentaba que: "Las arcillas son la parte más difusible en agua, que no se sumergen en ella como las arenas. La parte constituyente de las arcillas son alúmina y rocas silíceas de tamaño comprendido entre 0,25 milímetros y 0,25 micras y todos los otros componentes (excepto el agua), si hay algunos, son extraños a su composición".

MERRILL (13) en 1906 destaca que: "Prácticamente la única característica común a todas las arcillas es la plasticidad, cuando están húmedas; también influye el tamaño individual de las partículas y en algunas casos la presencia de un mínimo de material coloidal".

CHUKHROV (14) en 1955 dice: "Las llamadas arcillas son rocas aluminosilíceas plásticas, y con un volumen predominante de partículas con un diámetro inferior a 0,01 mm".

La definición de la American Ceramic Society y la A. S. T. M. (SEARLE y GRIMSHAW, 1959) es: "La arcilla es una roca de grano fino, que al triturar de un modo adecuado, adquiere plasticidad cuando se humedece y forma una especie de cuero duro cuando se seca y, si se calcina se convierte de modo permanente en una masa semejante a una roca"; que no deja de ser una definición fenomenológica.

El profesor M. VIVALDI, siendo Presidente de la S. E. A. (Sociedad Española de Arcillas) en una conferencia dada en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Oviedo en 1971, definió la arcilla como: "Una roca terrosa de grano fino, plástica cuando se mezcla con una cantidad limitada de agua, y en cuanto a su composición química formada por sílice, alúmina y agua, con cantidades variables de óxido de hierro, alcalinos y alcalino-térreos".

En Geología se utiliza el término "arcilla" como

concepto de roca. Así como también, el término arcilla no tiene significación genético.

Cuando se trata de definir la arcilla por el tamaño de partícula, existe una gran disparidad en los diferentes autores y disciplinas en cuanto al tamaño dentro del cual debe considerarse a la arcilla. Por ejemplo: Wentworth (1922), recomienda valores de 20 a 2 micras. Correns (1939) sugiere 20 micras de tamaño. Konta (1960) usa el tamaño de 10 micras, Rukhin (1958) el de 5 micras y Pettijohn (1957) recomienda 3,9 a 2 micras. Mullek (1961) emplea el tamaño de 2 micras. El tamaño de 2 micras es el más comúnmente aceptado en la bibliografía actual. Las normas A. S. T. M. consideran el tamaño de 5 micras, para las arcillas (26). En Geología se utiliza como tamaño de partícula la menor de cuatro micras ( $<4 \mu$ ), sin embargo, en la investigación de suelos se usan las  $2 \mu$  como límite superior.

Algunas definiciones de arcillas de la época de Kirwan (1794) se referían a su constitución química, según su contenido en sílice, alúmina y agua (por ejemplo, Tschernak, 1888), o según los silicatos de aluminio hidratados (Geikie, 1886, Dana 1888, Lerrill, 1906 y Pettijohn, 1957).

Como se puede observar, la mayor parte de las definiciones propuestas para la arcilla, se dan según criterios de propiedades físicas y no químicas, como: a) plasticidad, b) pequeño tamaño de partícula, c) endurecimiento por calcinación.

No obstante, el primer criterio expuesto, tiene la objeción de que, como Grim (1953) denota, excluye materiales como las arcillas duras, las llamadas "flint-clay" que no hinchán cuando se introducen en agua e incluso se necesita una buena experiencia para distinguirlas de las pizarras normales. Además la plasticidad es una propiedad si no de todos, sí, de la mayor parte de los materiales finamente divididos, por ejemplo, el cuarzo Geikie (11).

En el segundo criterio hemos visto la gran confusión que existe sobre cuál es el tamaño de la verdadera fracción arcillosa de una roca.

El tercero, endurecimiento por calcinación, puede ser objeto sobre la base de la presencia o ausencia de fundentes, ya que entonces no todas las arcillas se endurecerían por un simple calentamiento al rojo.

Si un material de depósito natural satisface dos o los tres criterios anteriores, sería en muchas disciplinas, clasificado como una arcilla sin serlo. Una de las posibles excepciones, podrían ser ciertas margas que son de pequeño tamaño de partícula y plás-

ticas, pero un simple análisis químico nos daría la diferencia entre marga y arcilla.

Como hemos visto, estos tres criterios tan generales para definir una arcilla tiene sus inconvenientes. Por todo esto, lo más idóneo es definir la arcilla desde el punto de vista mineralógico, cuestión abordada recientemente, como veremos.

Los primeros que investigaron para llegar a una conclusión de tipo mineralógico del concepto de arcilla fueron LE CHATELIER (15) y LOWENSTEINZ (16) en 1887 y 1909 respectivamente, ya que propusieron que las arcillas estaban formadas por partículas muy pequeñas de *un número limitado de minerales cristalinos*; como no existían métodos de investigación apropiados que proporcionasen pruebas positivas, pues los minerales arcillosos requieren técnicas especiales para su estudio y hasta hace relativamente poco tiempo solamente se conocían datos facilitados por los análisis químicos, por lo que no fue aceptado este criterio.

Los primeros trabajos que presentaban a las arcillas desde el verdadero punto de vista mineralógico fueron realizados por HENDRIKKS y FRY (17) en 1930 y por KELLEY (18) y colaboradores en 1931. Estos trabajos se basaban en análisis por difracción de Rayos-X de materiales de diferentes suelos y en fracciones igualmente finas, llegando a la conclusión de que los componentes son partículas cristalinas en número limitado, cuya combinación da lugar a los diferentes materiales arcillosos.

Este concepto fue corroborado por ROSS y KERR (19) en 1931 y ENDELL, HOFMANN y WILM (20) en 1933. PURI (21) en trabajos recientes, 1949, considera a las tierras (suelos) compuestos esencialmente ferroaluminosilíceos de composición variable, pero *todos* con la misma estructura cristalina (análisis de Rayos-X), pues como se trataban suelos de diferentes lugares por ácidos débiles, la estructura del residuo era la misma en todos los casos.

El concepto mineralógico de arcilla, es hoy día aceptado por todos los estudiosos de arcillas, el cual implica un material terroso, constituido por unos minerales de características especiales, denominados *minerales arcillosos*. El material no arcilloso (minerales secundarios) que acompaña a las arcillas puede ser, a veces, escaso ( $<5\%$ ) pero lo normal es que sea del orden del 50 por 100.

Solamente unos pocos investigadores, notablemente MATTSON (22), siguen en la idea de que esencia y sustancialmente las arcillas son amorfas, de material

extremadamente variable y que no puede identificarse por análisis de fracción de Rayos-X.

Considerando todo lo expuesto y como conclusión, en cualquier caso, a juicio de este autor, debe tenerse presente siempre el propósito para el que se requiere la definición y así clarificar criterios. No es lo mismo hacer referencia a un material tal como se encuentra en la naturaleza, o después de haber sufrido alguno de los procesos industriales o haber sido altamente purificado para que responda a unas exigencias físico-químicas estrictas.

II. LA CLASIFICACION

Aceptado el concepto mineralógico de arcilla, podemos considerar a éstas esencialmente como hidrosilicatos de aluminio conteniendo hierro y alcalinos o alcalino-térreos. Rarísimamente, algunas arcillas están formadas por un solo mineral, generalmente son una mezcla de ellos.

Con este concepto mineralógico de arcilla se puede atacar el problema de su clasificación y nomenclatura, que, dada la complejidad de estos minera-

Clasificación propuesta por la C. I. P. E. A.

Tipo	Grupo (X=carga de lámina)	Subgrupo	Especies
Tres capas.	Pirofilita-talco. X~0	Pirofilitas.	Pirofilita.
		Talcos.	Talco.
	Smectita o Montmorillonita - Saponita. X~0,5-1	Smectitas dioctaédricas o Montmorillonitas.	Montmorillonita, Beidellita, Nontronita.
		Smectitas trioctaédricas o Saponitas.	Saponita, Hectorita, Sauconita.
	Vermiculita. X~1-1,5	Vermiculita dioctaédrica.	Vermiculita dioctaédrica.
		Vermiculita trioctaédrica.	Vermiculita trioctaédrica.
2:1	Mica. X~2	Micas dioctaédricas.	Moscovita, Paragonita.
		Micas trioctaédricas.	Biotita.
Cuatro capas. 2:1:1	Clorita. X~variable	Cloritas dioctaédricas.	
		Cloritas trioctaédricas.	Proclorita, Pennina.
Dos capas.	Kaolinita-Serpentina. X~0	Kaolinitas.	Caolinita, Halloysita, Nacrita.
		Serpentinas.	Crisotilo, Lizardita y Antigorita.
Estructura en cadena (fibrosos).			Atapulgita.
			Sepiolita.
			Paligorskita.

les fue muy discutida nacional e internacionalmente durante varios años, y actualmente hay todavía considerables diferencias de opinión en cuanto a proponer bases para una clasificación satisfactoria, y para los nombres que deben darse a los minerales. Por ejemplo, aún es imposible actualmente diferenciar si un mineral arcilloso es dioctaédrico o trioctaédrico, cuando se encuentra íntimamente mezclado con otro mineral. Igualmente, las formas polimórficas que constituyen las micas, se suelen dar conjuntamente en el complejo mineral arcilloso y no pueden determinarse separadamente.

El conjunto de filosilicatos que constituyen los "tonstein" aún están sin determinar. Así, por ejemplo, LACROIX (1970) propuso que eran un término intermedio en la transformación caolinita-illita. ROSS y KEER (1931) mediante rayos-X dedujeron que no era caolinita y LAPPARENT (1934) que no era moscovita. GRIM (1953) los introduce en el campo de la caolinita. JASMUND (1955) los trata como hidromoscovita y SHEERE (1956) como apilamientos de láminas de caolinita e illita.

En cambio, la característica de expansibilidad y no expansibilidad en los minerales arcillosos del tipo de tres capas, se utiliza en su clasificación, por ejemplo, GRIM, por la facilidad con que se puede establecer. Sin embargo, varios autores han indicado que la importancia de la expansión se ha supervalorado y proponen que este conjunto de minerales se agrupen en una sola clase.

De todas las clasificaciones propuestas, la más aceptada comúnmente, es la propuesta por GRIM (8) en su tratado "Clay Mineralogy". Entre otras clasificaciones propuestas, destacaremos las dadas por BRINDLEY (23) y LAZARENKO (24) en 1955 y 1959, respectivamente.

El Comité Internacional para el Estudio de Arcillas (C. I. P. E. A), estableció un subcomité para "Nomenclatura y Clasificación", el cual en la Conferencia Internacional de Arcillas de Estocolmo (1963, hizo circular un resumen de todas sus deliberaciones y un esquema de la clasificación propuesta en un intento de unificar la nomenclatura.

En la actualidad aún hay una considerable diferencia de opinión para establecer las bases de una clasificación satisfactoria y para establecer los nombres de los minerales.

La aceptación internacional definitiva de un esquema adoptado debe reunir las siguientes características: a) Debe ser lógico, b) Ha de recordarse fácilmente, c) Los nombres no han de ser demasiado

engorrosos para su uso en el lenguaje o escritura, d) Debe ser aplicable en la práctica, e) Ha de ser aceptado semánticamente. (ROBERTSON, 1962 (25).

BIBLOGRAFIA

(1) VAN BEMMELEN, J. M.: *Die Absorptionverbindung und das Absorption vermögens der Ackererde*. "Landw. Vers. Sta", 35, 69-136 (1888).

(2) STREMME, H.: *On Allophane, Halloysite and Montmorillonite*. "Mentr. Mineral Geol", pp. 205-211 (1911).

(3) MELLOR, J. W.: *Nomenclature of clays*. "Trans. Ceram. Soc." (Engl.), 8, 23 (1908).

(4) SEARLE, A. B.: *Clay and clay Products*. "Brit. Assoc. Advan. Sci. Rept", pp. 113-154 (1920).

(5) WIEGNER, G.: *Ionenumtaush and Struktur*. "Trans. 3rd Intern. Conkr. Soil Sci.", Oxford, 3, 5-28 (1936).

(6) GEODRIZ, K. K.: *On the Absortive Power of Soil*. Commissariat of Agriculture U. R. R. S. Petrograd (1922). Translated by S. A. Kaksman and distribution by U. S. Departament of Agriculture.

(7) AGRÍCOLA, G.: *De Natura Fossilium* (1546), English Translation by M. C. Bandy and J. A. Bandi "Geol. Soc. Amer. Special Paper", 63 (1955).

(8) GRIM, R. E.: *Clay Mineralogy*. McGrawHill, New York (1968).

(9) GEIKIE, A.: *Class-book Geology*, MacMillan, London (1886).

(10) DANA, J. D.: *Manual of Mineralogy and Petrography*. Trübner, London (1888).

(11) GEIKIE, A.: *Structural and Field Geology*. Oliver & Boyd, Edinburgh (1905).

(12) KIZWAN, R.: *Elements of Mineralogy*. Elmsly, London (1794).

(13) MERRILL, G. P.: *Treatise on Rocks and Soils*. MacMillan, London (1906).

(14) CHUKHROV, F. V.: *Colloids in the Earth's Crust*. Nank SSSR, Moscow (1955).

(15) LE CHATELIER, H.: *De l'action de la chaleur sur les argilles*. "Bull. Fran. Mineral". 10, 204-211 (1887).

(16) LOWENSTEINZ: *Lleber Hydrate deren Dampfspannung sich Kontinuerlich mit der Zusammensetzung anderoq*. "Z. Anorg. Chem", 63, 69-139 (1909).



- (17) HENDIRCKS, S. B./ W. H. FRY: *The Results of X Ray and Microscapical Examinations of Soil Colloids*. "Soil Sci", 29, 457-478 (1930).
- (18) KELLEY, W. P., W. H. DORE and S. M. BROWN: *The Nature of the Base-Exchange Materials of Bentonites, Soils and Zeolites as Revealed by Chemical and X-Ray Analyses*. "Soil. Sci", 31, 25-45 (1931).
- (19) ROSS, C. S. and P. F. KERR: *The Clay Minerals and Their Identity*. "J. Sediment. Petrol", 1, 55-65 (1931).
- (20) ENDELL, K./U. HAFMANN and D. WILM: *Ueber die Natur der Keramischen Tone*. "Ber Dent. Keram. Ges.", 14, 407-438 (1933).
- (21) PURI, A. N.: *Soils: Their Physies and Chemistry*. Reinold, New York (1949).
- (22) MATTSON, S.: *The Constitution of the Pedosphere*. "Ann. Roy. Agr. Coll. Sweden", 5, 261-276 (1938).
- (23) BINDLEY, G. W.: *Clays and Clay Technology* (J. A. Pask-M. D. Turner, editors). California Division of Mines, San Francisco. Bull., 1969, páginas 33-43 (1955).
- (24) LAZARENKO, E. K.: *Nomenclature and clasification of clay minerals*. "Clay Min. Bull.", V-4, p 67-68.
- (25) ROBERTSON, R. H. S.: *Some notes ar acceptability of clay mineral group names*. "Clay Min. Bull.", V-5, pág. 41-43 (1962).
- (26) TSCHBOTARICFF: *Mecánica del suelo*. Aguilar, Madrid (1967).

Recibido: Julio 1977.

## Estudio de inclusiones fluidas en los depósitos de fluorita de Berbes; Asturias, España

Por J. GARCIA IGLESIAS (\*)

### RESUMEN

Se estudian las inclusiones fluidas de dos depósitos vecinos —"La Cabaña" y "Cueto del Aspa"— de la zona de Berbes, Ribadesella, Asturias. Estos depósitos pertenecen al grupo de los que en esta región se hallan espacialmente ligados a terrenos permotriásicos.

Utilizando técnicas crioscópicas y de calentamiento, se establecen sus salinidades en "equivalente de cloruro sódico" y sus temperaturas de homogenización.

Interpretando los datos obtenidos se llega a la conclusión probable de que nos hallamos con una fase inicial de tipo "hidrotermal", que afecta por igual a las dos zonas, y con una segunda fase determinada por la llegada de "fluidos petrolíferos", la cual afecta de modo importante a la zona de "La Cabaña" y de forma muy secundaria a la zona de "Cueto del Aspa".

Las conclusiones se basan en la homogeneidad que presentan las inclusiones del "Cueto", con unas características análogas a las de otros depósitos "Hidrotermales" similares; mientras que en "La Cabaña" evolucionan en una fase relativamente tardía hacia condiciones propias de fenómenos de mezcla, ante la llegada de aguas de naturaleza petrolífera.

La zona de Berbes adquiere un especial relieve de cara al estudio de inclusiones fluidas, por cuanto que en un área concreta de la misma existen abundantes inclusiones de fluidos petrolíferos, en la fluorita y en otros minerales de la paragénesis, que poseen un evidente interés como indicios de cara a la investigación de yacimientos de petróleo en la zona.

### ABSTRACT

Two neighbouring ore deposits —"La Cabaña" y "Cueto del Aspa"— of the Berbes' area (Ribadesella, Spain) have been studied for fluid inclusions. Using freezing and heating techniques the "equivalent sodium chloride concentrations" and their homogenization temperatures have been established.

According to data is concluded that we are dealing with a initial phase of the "hydrothermal" type affecting both zones, and with a second phase with mixing of "petroleum" fluids. This last affects more "La Cabaña" zone and less clearly "Cueto del Aspa" zone.

### INTRODUCCION

El estudio de las inclusiones fluidas existentes en los minerales es hoy una técnica auxiliar en la investigación con gran auge, no sólo en el campo de la geología de yacimientos sino también en otros dominios de la geología aplicada.

La fluorita es un mineral especialmente indicado para la realización de tales estudios, dadas sus características ópticas que permiten observar las abundantes inclusiones que en ella suelen ser normales; lo que, junto a la facilidad con que permite la confección de muestras adecuadas, la convierten en un mineral óptimo para este fin.

Con el deseo de profundizar en el conocimiento de los yacimientos de fluorita de Asturias, y como continuación de los trabajos realizados sobre los

(\*) Profesor Adjunto de Metalogenia e Investigación de Yacimientos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo.

mismos (GARCÍA IGLESIAS, 1972; GARCÍA IGLESIAS y TOURAY, 1976; GARCÍA IGLESIAS y TOURAY, 1977) el autor de este artículo intenta realizar una serie de investigaciones análogas a la presente, de la que sería continuación.

En esta ocasión se trata de muestras de dos depósitos de fluorita de la zona de Berbes ("Cueto del Aspa" y "La Cabaña"), y que en concreto corresponden a los dos puntos extremos del área mineralizada en aquel lugar. Allí la fluorita se localiza en torno a la superficie de discordancia angular existente entre el Paleozoico —en este caso se trata del Carbonífero—, afectado por el plegamiento hercínico, y la cobertera Permotriásica. En la figura 1 se

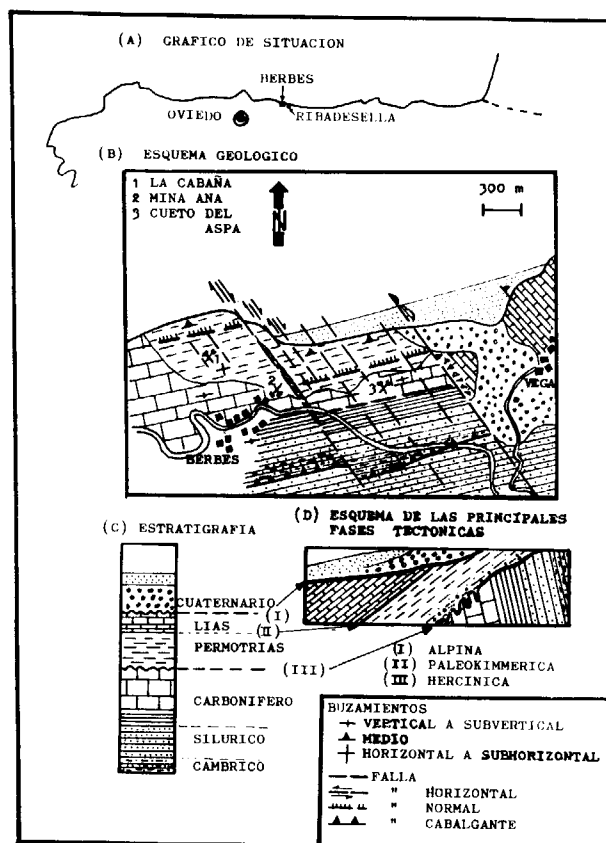


Figura 1

tiene gráfico de situación y esquemas geológicos correspondientes, ligeramente modificados de GARCÍA IGLESIAS, 1972. Dichas muestras de fluorita corresponden a cristales bien formados y en excelente estado de conservación, que constituyen un desmuestre si no sistemático sí representativo, tanto más si tenemos en cuenta la homogeneidad de los resulta-

dos obtenidos, del conjunto de la mineralización. Se trataba de dos tipos fundamentales de fluorita, siempre en relación con fracturas de mayor o menor importancia, que, cuando se asentaba en las calizas del zócalo carbonífero se superponían a una red "kárstica": fluorita de tonalidades violáceas de diferente intensidad, que es anterior, y fluorita incolora, más o menos transparente, que aparece como una fase de deposición más tardía. Esta última, que es la que presenta clara relación con una fase petrolífera —posee abundante presencia de materia orgánica, como costras de cristales o como inclusiones sólidas—, se localiza preferentemente en la zona de "La Cabaña".

Se trata de una mineralización epigenética, condicionada por el complejo sistema de fracturas del zócalo y la red "kárstica" de la caliza carbonífera donde ésta se encuentra; pero también la mineralización se extiende en algunas zonas a los niveles inferiores del Permotrias, siguiendo algunas fracturas que afectan a los mismos, y pudiendo extenderse lateralmente por algún nivel detrítico y carbonatado con una mayor permeabilidad o con la posibilidad de fenómenos de sustitución. La mineralización de estas fracturas desaparece rápidamente al ascender, dado el rápido tránsito a niveles margosos, en los que las fracturas se "cierran", y a los que caracteriza su alta impermeabilidad y la ausencia de fenómenos de sustitución. Todo esto se da en la zona de "La Cabaña", mientras que en la zona más oriental, que es la del "Cueto", disminuye el carácter favorable de los niveles inferiores del recubrimiento permotriásico, que se hace muy impermeable, por lo que la mineralización se localiza casi exclusivamente en el zócalo, en relación con fracturas y huecos de disolución "kárstica". En los trabajos anteriormente citados se pueden hallar datos más amplios sobre estos depósitos de fluorita.

#### TIPOLOGIA DE INCLUSIONES

El presente trabajo se realizó efectuando medidas sobre las inclusiones bifásicas constituidas por una fase líquida de tipo acuoso y una burbuja de gas —fotos 1, 2, 3, 4 y 14—. En la medida de lo posible se debe asegurar, para la fiabilidad de los resultados, la perfecta estanqueidad de las soluciones desde el momento de su formación. Por ello conviene efectuar medidas sobre inclusiones que no se hallen relacionadas con zonas o planos de fracturas —vid foto 4—, tanto más peligrosos para la estanqueidad

de una inclusión cuanto mayor sea ésta. La mejor garantía de esa estanqueidad consiste en comprobar, después de cada experimentación, que las inclusiones recobran el estado de partida una vez que vuelven a la temperatura ambiente.



Foto 1

FV-LC (Fluorita violeta - "La Cabaña"). Típica inclusión primaria (IIW), formada sobre una "laguna de cristalización" limitada por planos (100), y que se deben a la unión de cristales de menor tamaño con pequeñas diferencias de orientación. Presenta una burbuja de gas, cuyo aspecto oscuro se debe al fenómeno de "reflexión total" de la luz sobre su superficie límite más o menos esférica. La escala de referencia que llevan todas las fotografías equivale a 0,1 mm.



Foto 2

FV-LC. Otro aspecto de inclusiones primarias características del tipo (IIW). Su alineación marca un antiguo plano de crecimiento del cubo. La morfología de estas lagunas de cristalización —como en este caso— suelen guardar una cierta relación con el sentido de crecimiento o desarrollo del cristal. En la foto, la proyección del sentido de crecimiento señala hacia arriba, siendo ese mismo el sentido del acúñamiento progresivo de las inclusiones.

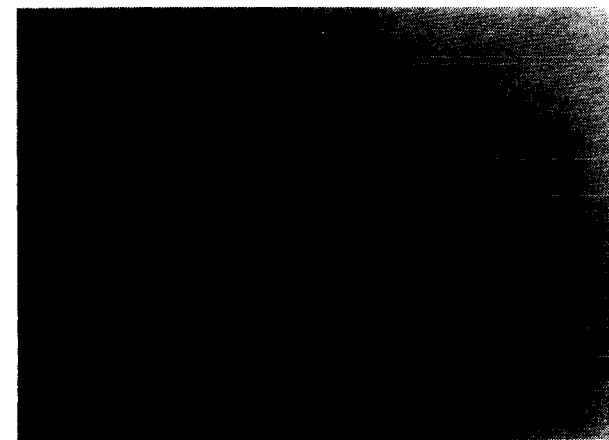


Foto 3

FV-LC. Otra inclusión primaria (IIW), presentando una morfología inconfundible de "cristal negativo" cúbico, cuyos planos o superficies límite son paralelas a las del cubo de fluorita al que pertenece la inclusión.



Foto 4

FV-LC. Conjunto de inclusiones primarias tipo (IIW), situadas en antiguo plano de crecimiento (100). Se observa como alguna de esas inclusiones carece de burbuja (IW), como consecuencia de pérdida de estanqueidad, al ser alcanzadas por superficies de fracturación posterior. Lógicamente, al efectuar medidas en inclusiones, deben excluirse todas aquellas que hagan sospechar una pérdida de estanqueidad, y con ella de las condiciones físico-químicas iniciales.

En las fotografías que se acompañan pueden verse los diferentes tipos de inclusiones características de estos depósitos.

Aunque la mayoría corresponden a fotografías de inclusiones en fluorita —algunas con hidrocarburos—, también se acompañan fotografías de inclu-



de una inclusión cuanto mayor sea ésta. La mejor garantía de esa estanqueidad consiste en comprobar, después de cada experimentación, que las inclusiones recobran el estado de partida una vez que vuelven a la temperatura ambiente.

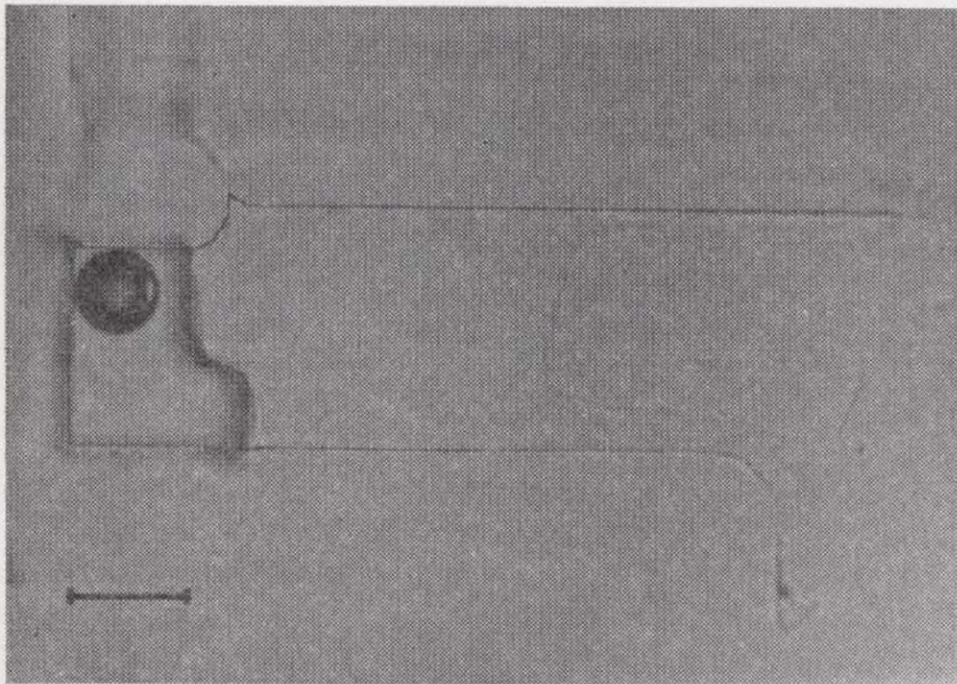


Foto 1

FV-LC (Fluorita violeta - "La Cabaña"). Típica inclusión primaria (IIW), formada sobre una "laguna de cristalización" limitada por planos (100), y que se deben a la unión de cristales de menor tamaño con pequeñas diferencias de orientación. Presenta una burbuja de gas, cuyo aspecto oscuro se debe al fenómeno de "reflexión total" de la luz sobre su superficie límite más o menos esférica. La escala de referencia que llevan todas las fotografías equivale a 0,1 mm.

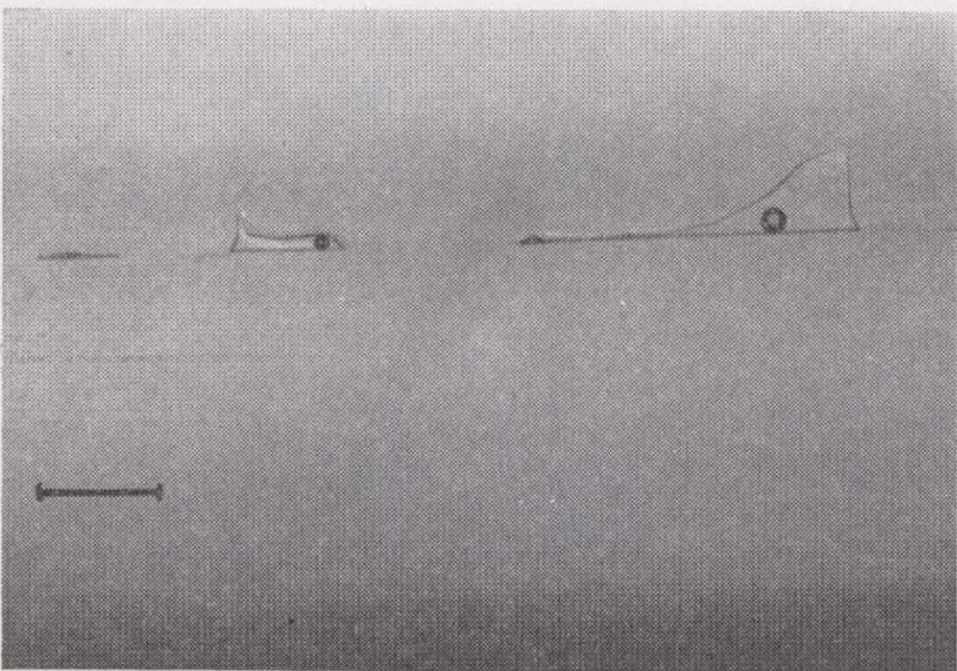


Foto 2

FV-LC. Otro aspecto de inclusiones primarias características del tipo (IIW). Su alineación marca un antiguo plano de crecimiento del cubo. La morfología de estas lagunas de cristalización —como en este caso— suelen guardar una cierta relación con el sentido de crecimiento o desarrollo del cristal. En la foto, la proyección del sentido de crecimiento señala hacia arriba, siendo ese mismo el sentido del acuñamiento progresivo de las inclusiones.

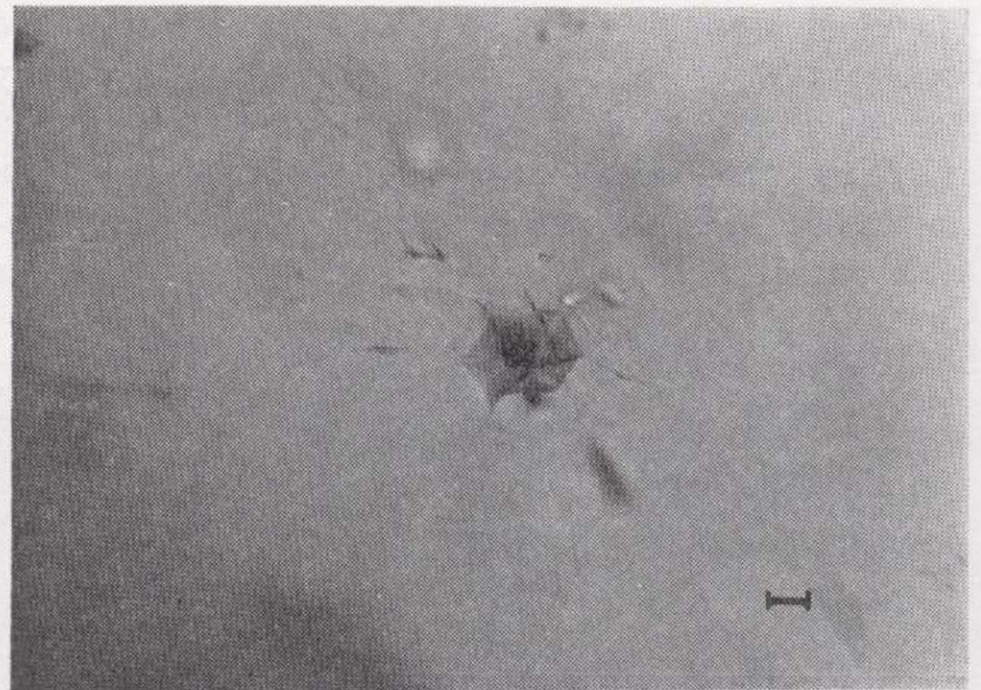


Foto 3

FV-LC. Otra inclusión primaria (IIW), presentando una morfología inconfundible de "cristal negativo" cúbico, cuyos planos o superficies límite son paralelas a las del cubo de fluorita al que pertenece la inclusión.

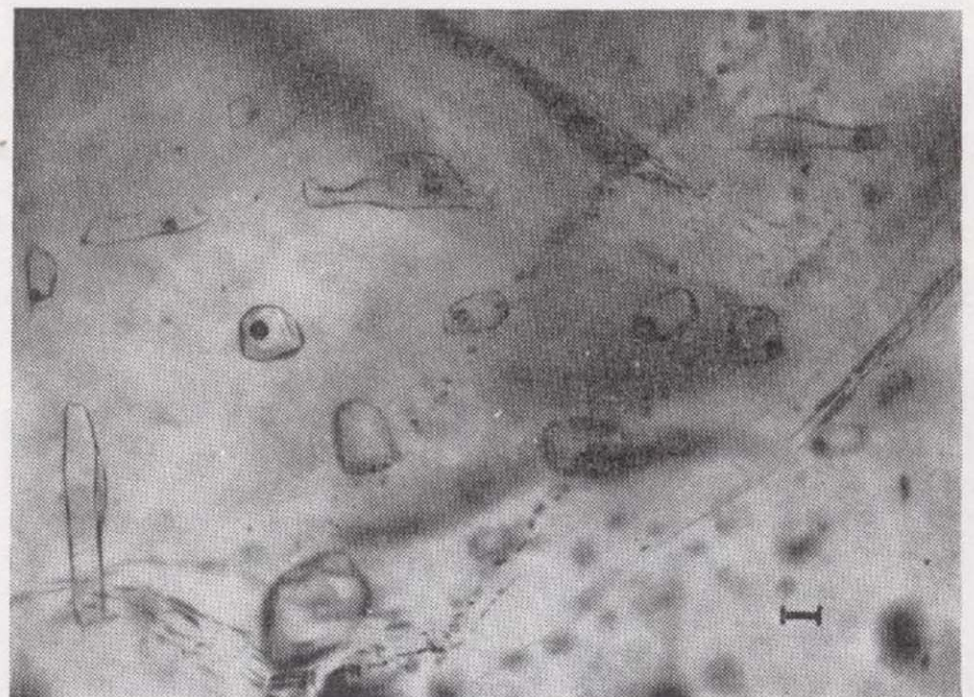


Foto 4

FV-LC. Conjunto de inclusiones primarias tipo (IIW), situadas en antiguo plano de crecimiento (100). Se observa como alguna de esas inclusiones carece de burbuja (IW), como consecuencia de pérdida de estanqueidad, al ser alcanzadas por superficies de fracturación posterior. Lógicamente, al efectuar medidas en inclusiones, deben excluirse todas aquellas que hagan sospechar una pérdida de estanqueidad, y con ella de las condiciones físico-químicas iniciales.

En las fotografías que se acompañan pueden verse los diferentes tipos de inclusiones características de estos depósitos.

Aunque la mayoría corresponden a fotografías de inclusiones en fluorita —algunas con hidrocarburos—, también se acompañan fotografías de inclu-



siones en cuarzos de la zona de "La Cabaña", que aparecen ligados a la mineralización de fluorita y formando parte de la paragénesis. Se trata de cuarzos con inclusiones de gran interés, no sólo por la calidad y belleza de dichas inclusiones, sino también por que en ellos aparece de forma mucho más

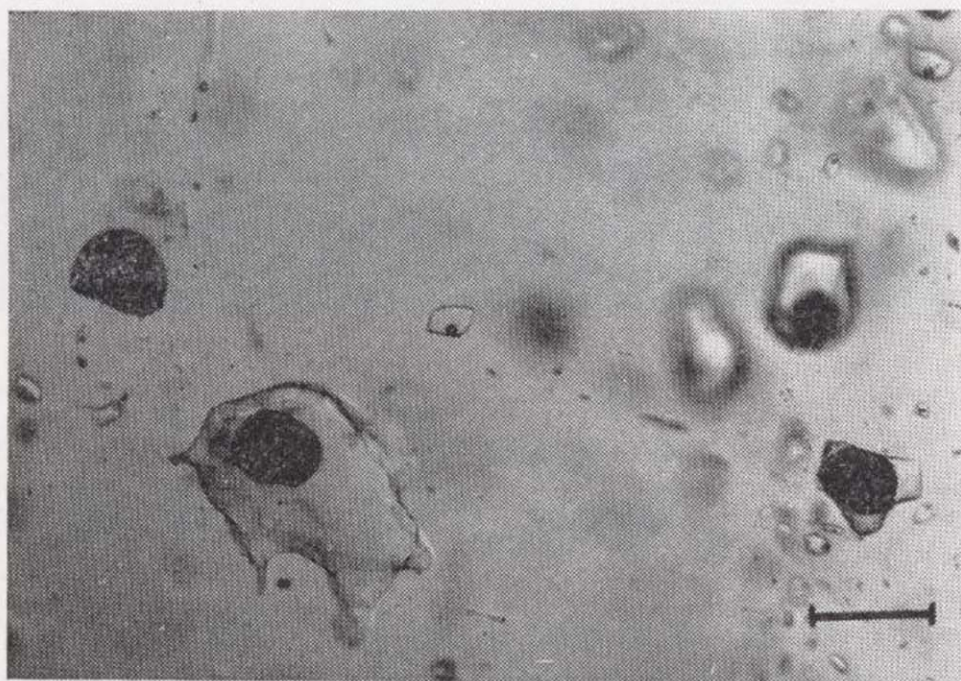


Foto 5

FB-LC. Inclusiones primarias de tipo (IIIWLG), y algunas más pequeñas de tipo (IIW). A causa de la escasa transparencia del petróleo, éste contrasta mal con las burbujas de gas a las que se halla asociado. El gas debe estar constituido por hidrocarburos ligeros, principalmente metano.



Foto 6

Se trata de la misma fotografía anterior, observada con N+, lo que permite ver mejor la diferencia entre las burbujas de gas y el petróleo asociado a las mismas, el cual polariza, lo que constituye un factor de identificación de los hidrocarburos orgánicos. También se observa las diferencias de proporción de fase W y fase L, entre las diferentes inclusiones; así como un fenómeno de desmezcla en el petróleo de la inclusión mayor, que da origen a dos líquidos de diferentes propiedades (color, transparencia, viscosidad...)

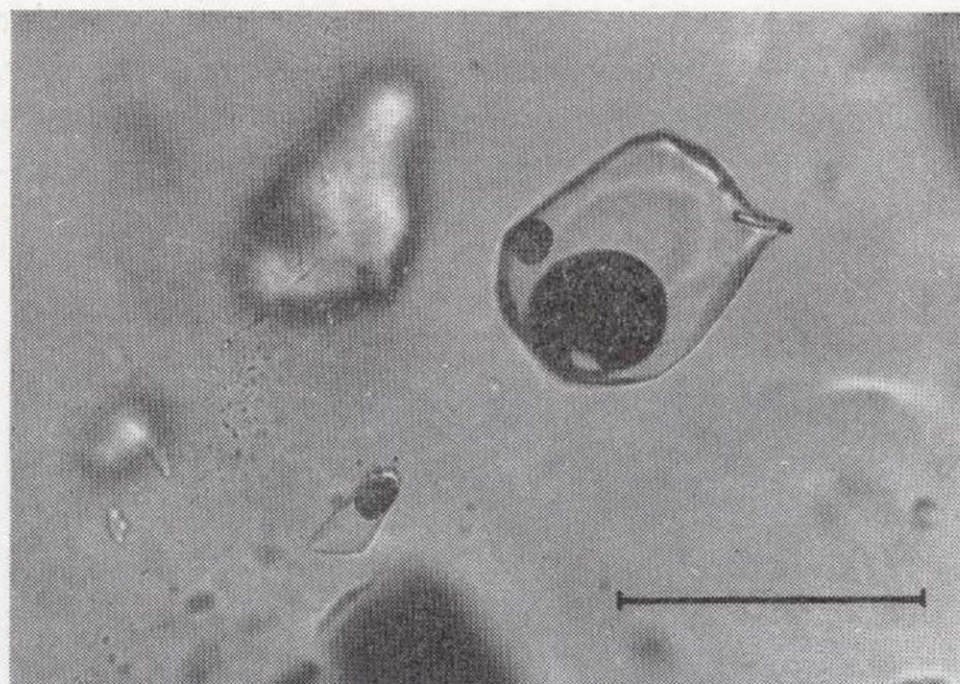


Foto 7

FB-LC. Inclusiones primarias con petróleo (IIIWLG). En la mayor de ellas, con una morfología condicionada por planos determinados de la "fluorita", tenemos dos gotas de petróleo flotando en la solución acuosa; a la mayor de esas gotas se halla ligada la burbuja de gas, la cual no contrasta suficientemente a causa de la tonalidad oscura del "petróleo". También tenemos en esa inclusión un mineral primario "acicular", que condiciona la misma morfología de la cavidad y prueba su carácter de inclusión "primaria". En la zona derecha de la fotografía tenemos, cruzando de arriba abajo, un "halo" de finas inclusiones "secundarias".

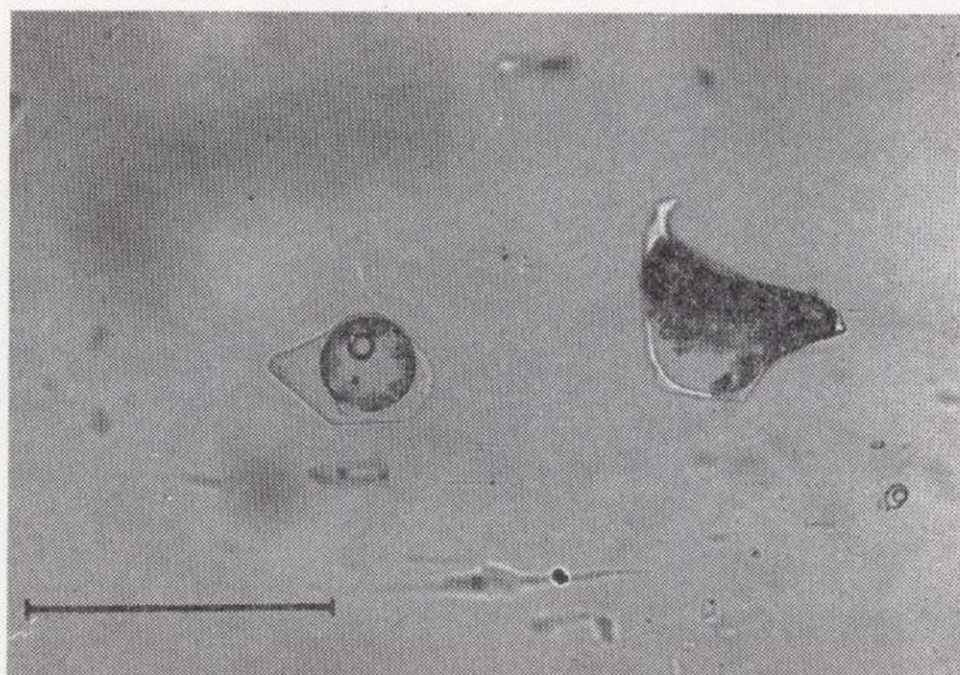


Foto 8

FB-LC. Inclusiones primarias (IIIWLG) y (IIW), éstas muy pequeñas. En las dos mayores predomina la fase petrolífera, en la que se observa materia bituminosa en suspensión. También se constata cómo la fase de hidrocarburos sufre un cierto proceso de diferenciación con intento de separación de una "sub-fase" menos viscosa y más transparente, que se destaca a modo de apófisis con diferente radio de curvatura.



patente la presencia de los indicios de hidrocarburos a los que nos hemos referido anteriormente (fotos 17 a 21).

En la explicación de las fotos —cuya escala de referencia es siempre de 0,1 mm— se utilizan una serie de signos clave, con el fin de simplificar el texto, y que vamos a definir a continuación.

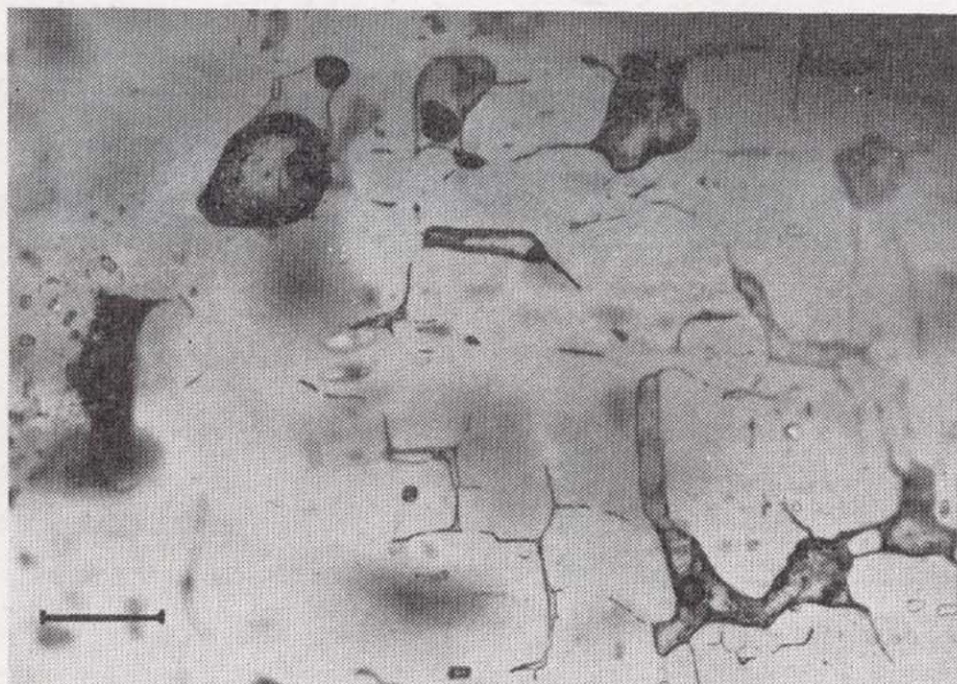


Foto 9

FB-LC. Inclusiones primarias del tipo (IILG) y (IIWLG) principalmente. Se originaron a partir de lagunas de cristalización sobre una superficie de crecimiento del cristal de fluorita constituida por un plano (100) o plano del cubo. La morfología de estas inclusiones es muy similar a la que presentan ciertas lagunas de cristalización que se observan en caras (100), terminales de cristales cúbicos de esos mismos depósitos.

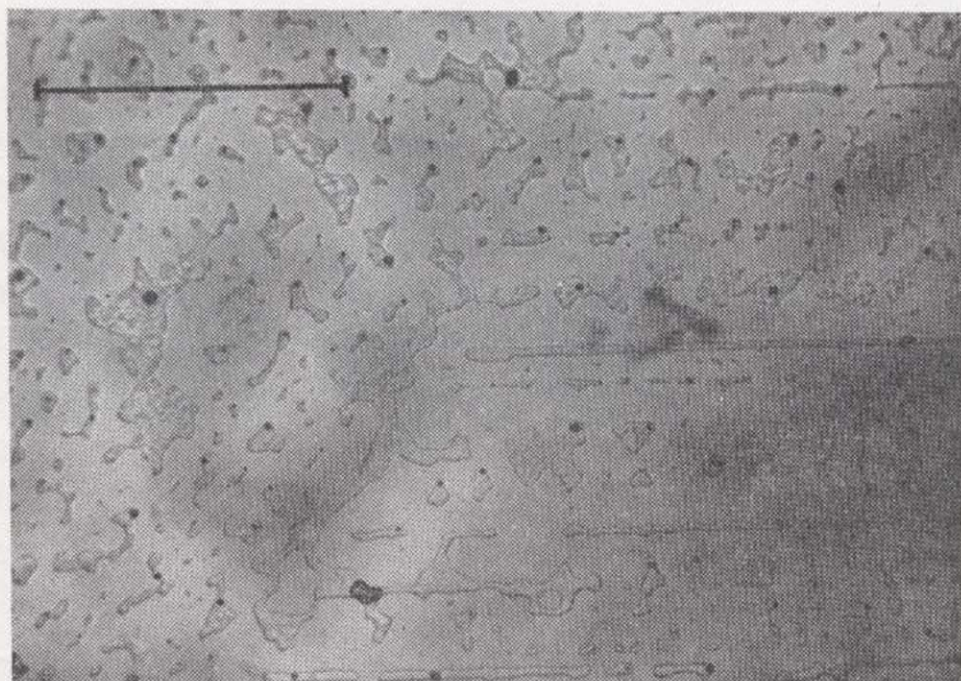


Foto 10

FV-CA. Inclusiones secundarias del tipo (IIW) en plano (111). Su aspecto —escasa profundidad y morfología poco evolucionada de las cavidades, así como la escasa importancia de la fase gaseosa— parece indicar una formación tardía y de baja temperatura. En algunas zonas recuerdan un texto de escritura "cuneiforme".

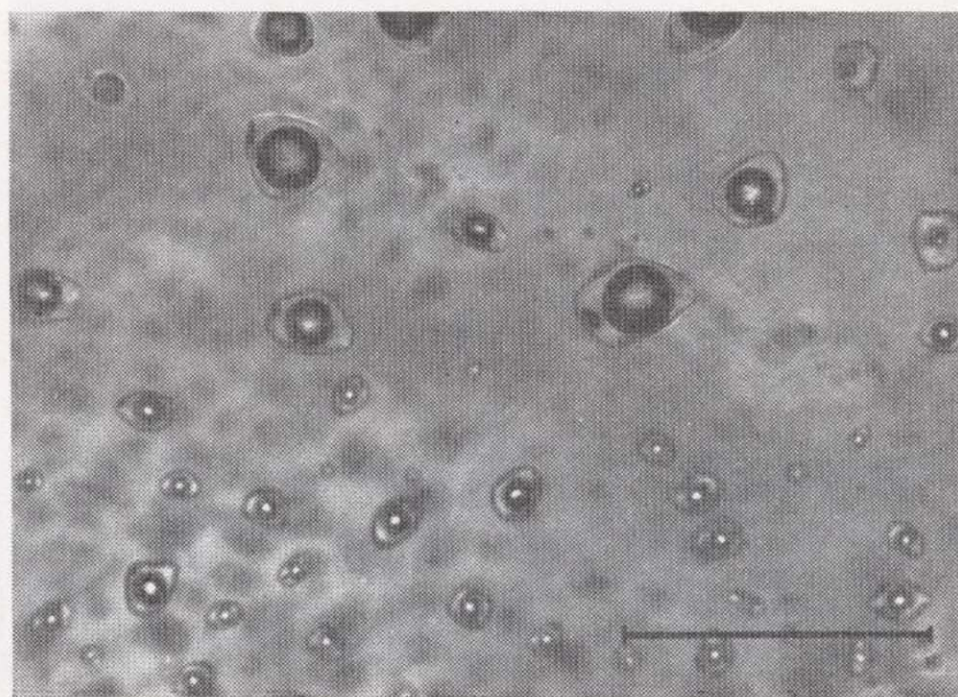


Foto 11

FV-CA. Grupo de inclusiones secundarias, de aspecto característico, dispuestas en un plano (111) de la fluorita. Estas inclusiones son del tipo (IIIIL<sub>1</sub>L<sub>2</sub>G). La fase L<sub>1</sub> y G están constituidas por hidrocarburos, y la L<sub>2</sub>, muy poco abundante y representada por la pequeña gota de líquido adherida a la pared de la cavidad, que presenta una mayor densidad que L<sub>1</sub> y que W, pudiera ser probablemente H<sub>2</sub>S (esta muestra de fluorita presentaba una fuerte y característica "fetidez", que justifica tal suposición).

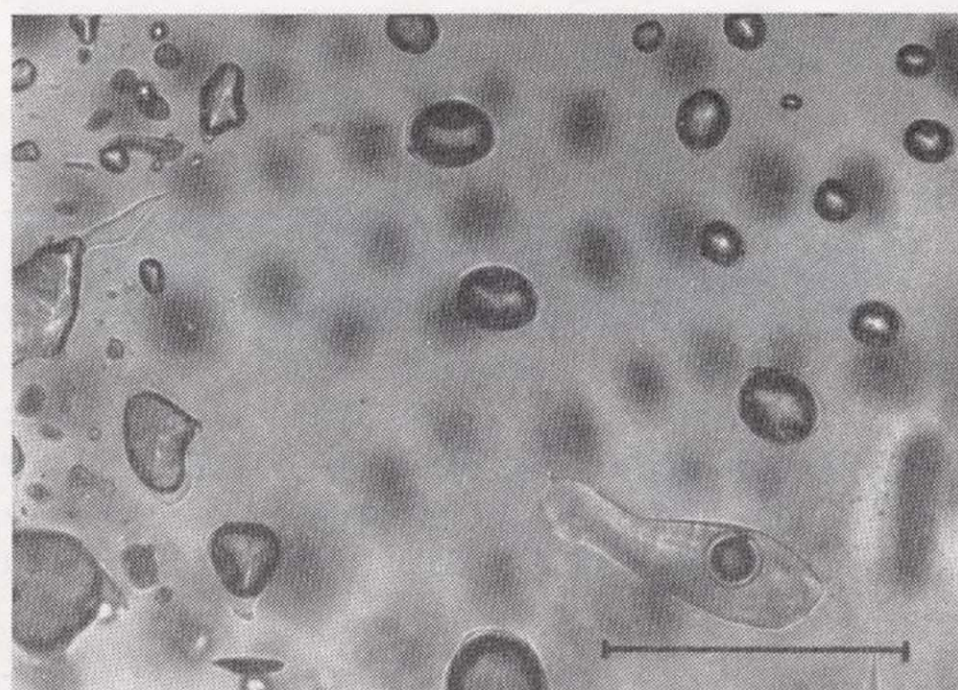


Foto 12

FV-CA. Muestra similar a la anterior, con inclusiones secundarias de tipo (IILG), (IIIIL<sub>1</sub>L<sub>2</sub>G) y (IVWL<sub>1</sub>L<sub>2</sub>G). Las inclusiones de tipo (IVWL<sub>1</sub>L<sub>2</sub>G) se forman en zonas de interferencia de otros planos posteriores —por los que penetran soluciones acuosas— con planos de inclusiones secundarias anteriores de tipo (IIIIL<sub>1</sub>L<sub>2</sub>G). Normalmente estas inclusiones con preponderancia de fase G suelen homogenizar en fase gaseosa, si es que, como resulta frecuente, no decrepitan antes de la homogenización.



*Mineral y lugar de procedencia.*

FV = Fluorita de tonalidad violeta.

FB = Fluorita de tonalidad blanca.

Q = Cuarzo.

CA = Depósito de "Cueto del Aspa".

LC = Depósito de "La Cabaña".

*Tipo de contenido de la inclusión.*

En los signos seguimos a BARLIER, TOURAY y GUILHAUMOU (1973): tipifican las diferentes inclusiones de la siguiente manera:

I, II, III = Número de fases a temperatura ambiente.

W = Presencia de fase  $H_2O$  líquida.

L = Presencia de fase líquida de hidrocarburos.

$L_1, L_2$  = Presencia de fase hidrocarburos líquidos ( $L_1$ ), y de otros líquidos no miscibles.

G = Fase gaseosa formada por hidrocarburos ligeros, en nuestro caso probablemente metano en alta proporción.

Cuando se trate de una fase gaseosa de vapor de agua y no de hidrocarburos, no se introduce ningún signo de representación. Así la presencia en una inclusión de solamente  $H_2O$  en fase líquida y en fase vapor se representaría (IIW). Por el contrario, un símbolo tal como (IIIWLG) indicaría que nos hallamos ante una inclusión constituida por  $H_2O$  líquida, hidrocarburos también en fase líquida y burbuja de gas constituida por hidrocarburos en fase gaseosa.

La presencia de una fase sólida formada por minerales que se forman en el seno de la inclusión, al alcanzar la solución condiciones de sobresaturación, se indicaría añadiendo una S, o bien  $S_1, S_2, \dots$ , si se tratase de más de una sustancia formada por precipitación. Así, una inclusión del tipo de las representadas en la fotografía número 13 se indicaría con el símbolo (IIWS). Por el contrario, cuando se trata de un mineral atrapado como inclusión "primaria" en la cavidad en que se formó la inclusión —vid fotografías 7, 14, 15 y 16—, y que por

tanto no es un mineral o una fase sólida precipitada —una vez sellada la cavidad— a partir de los fluidos de la misma inclusión, en ese caso no se representa en el símbolo utilizado. Estas inclusiones sólidas suelen estar constituidas por minerales formados en condiciones de equilibrio con los fluidos "madre", al igual que el mineral que hospeda a la propia inclusión fluida, y por ello no suelen disolverse durante el calentamiento. Por el contrario, las inclusiones nacidas en el seno de la misma cavidad, al evolucionar las condiciones físico-químicas del fluido confinado, normalmente llegan a disolverse a una temperatura adecuada, que es la que se toma como temperatura de homogenización si, en el caso de que existiese fase gaseosa, ésta ya hubiese desaparecido anteriormente a una temperatura inferior.

En el caso que nos ocupa, las inclusiones secundarias no presentaban nunca fase sólida —fotos 10, 11 y 12—, mientras que sí pueden encontrarse sólidos en algunas inclusiones primarias, especialmente en la zona de "La Cabaña". En este caso se trata siempre de inclusiones atrapadas, pero no de productos de precipitación a partir de las sustancias salinas disueltas en el agua de la inclusión, lo que sería ya índice de salinidades elevadas en el medio de formación.

Dentro de la fluorita, las citadas inclusiones secundarias se disponen en planos (111), rellenando cavidades de morfología variable pero con marcada tendencia a desarrollarse según tres direcciones —foto núm. 10— que se cortan a  $60^\circ$ , y que coinciden con las trazas que los otros tres sistemas de planos (111) provocan sobre el de las inclusiones. Es de señalar que esas condiciones, así como morfologías similares de cavidades, se dan en figuras de corrosión natural y artificial sobre planos (111) de fluoritas asturianas (GARCÍA IGLESIAS, 1976). Por tanto, inclusiones análogas bien pudieran estar ocasionadas a partir de fenómenos de corrosión —seguidos de fenómenos de cicatrización de los planos de fractura—; y no a lagunas de cristalización solamente, en el sentido en que tradicionalmente se viene admitiendo (ROEDDER, 1967).

Aparte de la presencia de petróleo —fotos 5 a 9—, otra cosa que diferencia la fluorita de formación tardía en la zona de "La Cabaña" de la fluorita violeta, más precoz, es el mayor número de inclusiones primarias, así como una mayor abundancia en las mismas de inclusiones sólidas, fundamentalmente cuarzo y carbonatos.

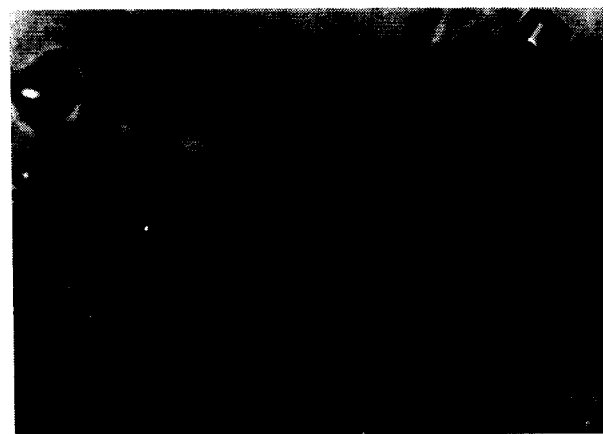


Foto 13

Tenemos en esta fotografía un aspecto de inclusiones secundarias tipo (IIWS), con fase sólida de NaCl formada por precipitación de un contenido de alta salinidad dentro de la propia inclusión, al alcanzar la solución, por descenso de la temperatura, el límite de solubilidad. No corresponde a la zona de estudio, pero se presenta aquí para ver un ejemplo de inclusiones fluidas acuosas, formadas a partir de soluciones de alta salinidad.



Foto 14

FB-LC. Inclusiones primarias del tipo (IIW) fundamentalmente. En la mayor de ellas tenemos un contenido sólido polimeral, de origen "primario", en el que se distingue un cuarzo bien terminado, de morfología "bipiramidal". La abundancia de inclusiones de cuarzos, bien como simples inclusiones sólidas primarias o en el interior de inclusiones fluidas como la de la fotografía, parece evidenciar la existencia de una fase de precipitación de sílice ligada con la fase de inclusiones petrolíferas, dada la coincidencia de ambas.

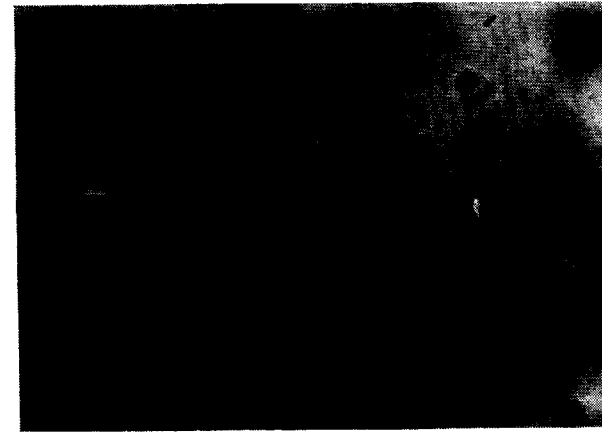


Foto 15

FB-LC. Inclusiones primarias tipo (IIWLG) —poseen una pequeña "corona" de hidrocarburos líquidos en torno a la burbuja—, con otras tipo (IIW). En algunas tenemos también inclusiones sólidas "primarias", muy aplanadas y anisótropas (vid. siguiente fotografía).

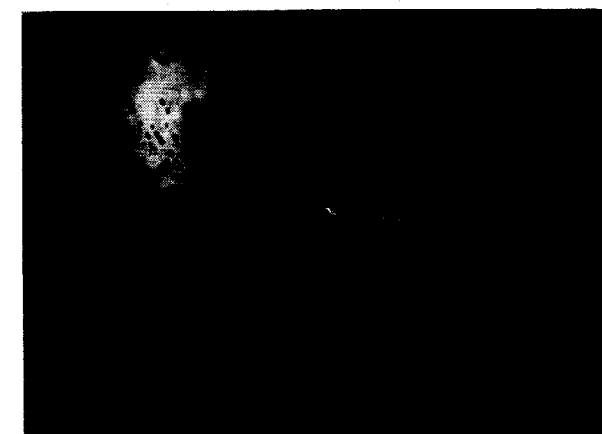


Foto 16

Corresponde a la anterior, observada con N+. Contrasta mejor el "petróleo" y la burbuja, y las inclusiones sólidas, anisótropas.

## EL ESTUDIO DE LAS MUESTRAS

Se comenzó realizando las preparaciones correspondientes, con el fin de obtener láminas de fluorita con el suficiente espesor para no deteriorar las inclusiones fluidas primarias de tamaño relativamente grande. Con este fin se realizaron cortes de cristales adecuados, seguidos de fases sucesivas de pulido para obtener dos caras paralelas que permitiesen la observación por transparencia. También



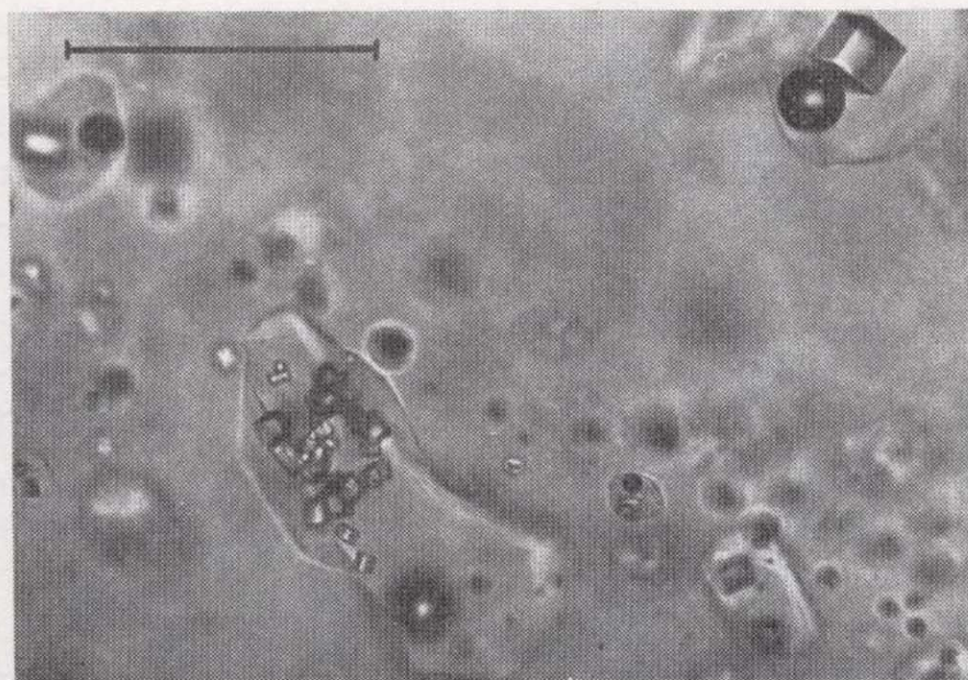


Foto 13

Tenemos en esta fotografía un aspecto de inclusiones secundarias tipo (IIIWS), con fase sólida de NaCl formada por precipitación de un contenido de alta salinidad dentro de la propia inclusión, al alcanzar la solución, por descenso de la temperatura, el límite de solubilidad. No corresponde a la zona de estudio, pero se presenta aquí para ver un ejemplo de inclusiones fluidas acuosas, formadas a partir de soluciones de alta salinidad.



Foto 14

FB-LC. Inclusiones primarias del tipo (IIW) fundamentalmente. En la mayor de ellas tenemos un contenido sólido polimeral, de origen "primario", en el que se distingue un cuarzo bien terminado, de morfología "bipiramidal". La abundancia de inclusiones de cuarzos, bien como simples inclusiones sólidas primarias o en el interior de inclusiones fluidas como la de la fotografía, parece evidenciar la existencia de una fase de precipitación de sílice ligada con la fase de inclusiones petrolíferas, dada la coincidencia de ambas.



Foto 15

FB-LC. Inclusiones primarias tipo (IIIWLG) —poseen una pequeña "corona" de hidrocarburos líquidos en torno a la burbuja—, con otras tipo (IIW). En algunas tenemos también inclusiones sólidas "primarias", muy aplanadas y anisótropas (vid. siguiente fotografía).



Foto 16

Corresponde a la anterior, observada con N+. Contrasta mejor el "petróleo" y la burbuja, y las inclusiones sólidas, anisótropas.

## EL ESTUDIO DE LAS MUESTRAS

Se comenzó realizando las preparaciones correspondientes, con el fin de obtener láminas de fluorita con el suficiente espesor para no deteriorar las inclusiones fluidas primarias de tamaño relativamente grande. Con este fin se realizaron cortes de cristales adecuados, seguidos de fases sucesivas de pulido para obtener dos caras paralelas que permitiesen la observación por transparencia. También



se pueden obtener preparaciones de buena calidad utilizando las superficies de "clivage", que en la fluorita corresponden a planos (111), pero que nos dan una orientación forzada de tales láminas; en cambio tienen la ventaja de que, normalmente, si esas superficies se obtienen con cierto cuidado, no requieren fase de pulido para la observación de las inclusiones.

A continuación se realizó la fase de observación y de selección de las muestras más adecuadas, para proceder al estudio propiamente dicho. Si bien la fase de observación y selección puede realizarse sobre cualquier microscopio de transparencia de tipo convencional, el estudio propiamente dicho requiere que ese microscopio esté provisto de una platina especial, que permita refrigerar y calentar las muestras bajo observación directa y con control de temperaturas. Hoy día existen ya varias casas comerciales que pueden servir tales equipos, dentro de presupuestos relativamente moderados, si bien no es difícil realizar un equipo análogo a precio muy inferior, siempre que se cuente con un mínimo de medios técnicos.

Se comienza utilizando la platina "crioscópica", con la que se llega a tener temperaturas de hasta  $-160^{\circ}\text{C}$ . De esa forma se consigue helar las inclusiones, sometiéndolas luego a un calentamiento lento y progresivo. Con ello se llega a determinar dos parámetros de la solución, que son su temperatura de comienzo de fusión del hielo formado ( $T_1$ ) y su temperatura de fusión final del último cristalito de hielo ( $T_2$ ). Esas temperaturas son función del tipo de solución, es decir, de los iones en solución y de sus concentraciones. Dado que con este método indirecto de análisis químico de las soluciones es imposible llegar a establecer con exactitud la verdadera naturaleza de la solución, se recurre a convertirlo en "Equivalente de cloruro sódico", utilizando el diagrama de equilibrio del sistema  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  (ROEDDER, 1962) para lo que se utiliza el parámetro ( $T_2$ ). El ( $T_1$ ) permite descubrir la presencia de otros iones como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , y así poder apreciar en qué medida nuestra solución se aparta de una verdadera solución  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ .

Aún cuando no podemos resolver de esta manera el problema del verdadero quimismo de las inclusiones, los parámetros  $T_1$  y  $T_2$  siempre son útiles a la hora de poder establecer criterios de correlación entre las distintas muestras, entre fases diferentes de mineralización o entre yacimientos diferentes.

Se ha observado que durante el enfriamiento, las inclusiones se hielan a una temperatura  $T'$ , que guarda una cierta relación con el grado de salinidad deducido en función de  $T_1$  y  $T_2$ . Por lo que el medir tal temperatura,  $T'$ , da una idea previa de las salinidades, y al mismo tiempo no deja de ser otro parámetro de cierta utilidad. Se deduce que  $T'$  es función de la velocidad de enfriamiento —a mayor velocidad  $T'$  alcanza valores más bajos lógicamente—; y también parece influir el tamaño de las inclusiones, ya que se ha observado una cierta tendencia de las inclusiones más pequeñas a retrasar su solidificación.

También he observado que —especialmente en inclusiones muy pequeñas— no se llega a apreciar la formación de hielo, el cual se hace patente de forma brusca al elevar nuevamente la temperatura, fenómeno que ya ha sido constatado por otros autores.

Durante los ensayos de "crioscopia" se aprecia igualmente si se forma fase sólida, la cual, dado el carácter dominante de  $\text{Cl}^-$  y de  $\text{Na}^+$  en la solución, será preferentemente "halita" o "hidrohalita". En función de esto se puede deducir la mayor o menor importancia de tales iones en la solución.

Posteriormente se procede al estudio de las mismas muestras con la platina calentadora, a fin de determinar la temperatura de homogeneización de las inclusiones ( $T_h$ ), que es aquella a la que la inclusión se hace monofásica. En nuestro caso, en que se trata de inclusiones que a temperatura ambiente poseen un volumen de fase líquida muy superior al ocupado por la fase gaseosa, la homogeneización se realiza, como era de esperar, en fase líquida. Para esta segunda fase de trabajo, y dado que se utilizaba una platina que puede funcionar indistintamente como calentadora o como crioscópica, no era necesario el cambio de muestra ni de útiles del microscopio, lo cual supone un gran ahorro de tiempo. Además se garantiza el estudio de las mismas muestras e incluso de las mismas inclusiones utilizadas para la determinación de los parámetros "crioscópicos".

Durante la determinación de las temperaturas de fusión del último cristal de hielo ( $T_2$ ), debe tenerse en cuenta la posibilidad de que se produzca un fenómeno de metaestabilidad de la fase sólida, en cuyo caso la  $T_2$  puede ser superior a los  $0^{\circ}\text{C}$ , por ejemplo  $+2^{\circ}\text{C}$ , lo que resulta paradójico. Esa metaestabilidad viene explicada por la ausencia de burbuja en la inclusión, que a veces tarda en aparecer



Foto 17

Q-LC. (Cuarzo - "La Cabaña"). Abundantes inclusiones primarias con petróleo. Existen de diferentes tipos de contenido: (IIIWLG), (IILG), (IIW)... Destaca sobremanera una gran inclusión alargada, de casi 2,5 mm de longitud del tipo (IIIWLG), y en la que se observan hasta cuatro gotas diferentes de petróleo, con materia negra bituminosa en suspensión; en esa inclusión solamente tenemos burbuja de gas asociada a una de las gotas de hidrocarburos.

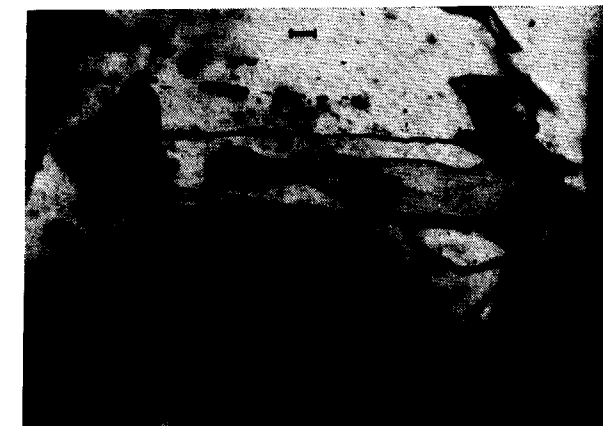


Foto 18

Q-LC. Análoga a la anterior, con inclusiones primarias de todo tipo: (IIIWLG), (IIWL), (IILG), materia carbonosa sólida... La mayor de las inclusiones —tipo (IIWL)— tiene unos 2,5 mm de longitud, y se observa en ella la presencia de dos masa independientes de petróleo, una pequeña, en su extremo izquierda, y otra grande, ocupando una buena parte de la inclusión. En ambas existe materia bituminosa dispersa. La dirección alargada que domina en estas inclusiones coincide con la dirección del eje "c" del cristal de cuarzo en el que se hallan las inclusiones.

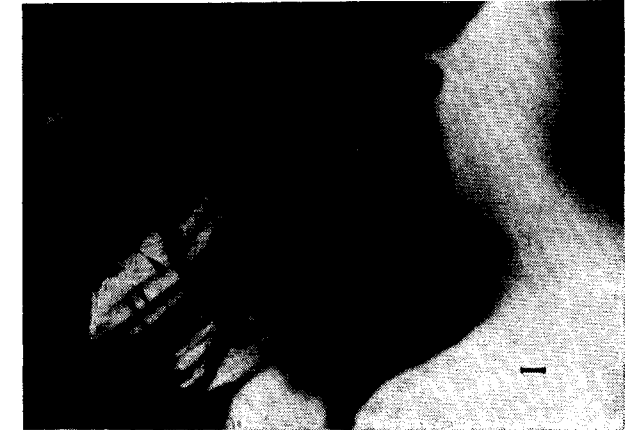


Foto 19

Q-LC. "Cristal negativo" perfecto, constituido por una inclusión primaria de tipo (IILG). El hecho de que se trate de una fase líquida de hidrocarburos se desprende ya de la presencia de materia bituminosa asociada, lo que es frecuente en ellos y que se halla alineada, adhiriéndose a las paredes de la cavidad; por el contrario, no suele hallarse asociada a la fase W. También aquí el eje de la inclusión presenta una dirección paralela a la del eje "c" del cristal de cuarzo.

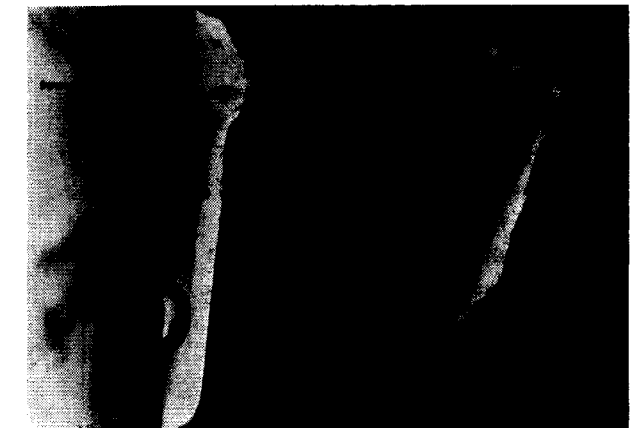


Foto 20

Q-LC. Dos inclusiones primarias tipo (IIWG). En la más ancha se observa una adherencia en la pared de la cavidad, constituida por una sustancia sólida de aspecto fibroso, y que se trata de hidrocarburos solidificados a temperatura ambiente, pero que funden al ir calentando la muestra. La presencia de los mismos hace ya sospechar que en la fase gaseosa dominan hidrocarburos ligeros —principalmente metano—, lo que se confirma luego en los ensayos de "crioscopia".



a causa de una cierta inercia por parte del líquido a soltar el gas disuelto durante el enfriamiento. Esa ausencia de fase gaseosa coexistiendo con el líquido y con los últimos cristales de hielo, es la causa de que exista una cierta "depresión" con respecto a las condiciones originales, la cual justifica el que la fusión final se realice a temperatura mayor de la normal. Lógicamente, la  $T_2$  debe ser determinada en inclusiones en las que la burbuja aparezca antes de la fusión final, sin tener en cuenta aquellas inclusiones en las que se dé la presencia de "hielo metaestable" (ROEDDER, 1967).

## LA DISCUSION DE LOS RESULTADOS

### A) Cueto del Aspa.

Los cristales de fluorita pertenecientes a este depósito —el más oriental de la zona— que se han estudiado, eran cristales de tonalidades violeta, tomados al azar. Con frecuencia esos cristales presentan intensa zonalidad de coloración, ligada al mismo proceso generador del cristal.

Se ha observado que los resultados de las diferentes muestras son muy homogéneos, lo que lleva a la conclusión de que nos hallamos ante un medio generador con escasas variaciones, en cuanto a sus condiciones físico-químicas, al ir de un punto a otro del depósito.

Las inclusiones fluidas estudiadas —tanto primarias como secundarias— eran bifásicas, con neta dominancia de fase líquida sobre fase gaseosa. Son mucho más abundantes las inclusiones secundarias; y las primarias, por otra parte, se presentan bastante aisladas, lo que, junto con su típica morfología, facilita su caracterización. El inconveniente radica en que al tener menos inclusiones primarias dentro de cada campo de observación, se precisa un mayor número de experiencias para tener datos lo suficientemente representativos del conjunto de aquellas. Es notable el contraste con las inclusiones de "La Cabaña" en cuanto a la abundancia y al contenido, ya que en ese depósito, aparte de la presencia de hidrocarburos, los dos tipos de inclusiones son mucho más abundante, y en concreto las primarias presentan con cierta frecuencia inclusiones sólidas, que aparecen como posible causa de la laguna de cristalización sobre la que se ha formado la inclusión fluida (vid. fotos 7, 14 y 15).

### Datos crioscópicos.

Los resultados de las experiencias crioscópicas se reproducen en el gráfico de la figura 6, en donde se observa el dominio de dispersión que presentan  $T_1$  y  $T_2$ . Las inclusiones primarias se simbolizan con un 1, y las secundarias con un 2. Aquellas están bien acotadas, tanto en los valores de  $T_1$  como de  $T_2$ , mientras que las secundarias sólo se ha determinado con la suficiente precisión la  $T_2$ , siendo su  $T_1$  algo inferior a la de las inclusiones primarias, pero sin que se haya medido con la suficiente exactitud.

Durante el enfriamiento, las inclusiones primarias solían solidificar a una  $T_1$  del orden de los  $-52^\circ\text{C}$ , lo que ya indicaba a priori unas salinidades de la solución relativamente normales en este tipo de yacimientos (ROEDDER, 1963), y en concordancia con el comportamiento comprobado ya en otras muestras de yacimientos asturianos, sobre los que se había realizado alguna experimentación previa.

Los valores de  $T_1$  oscilaban en estas muestras de "Cueto del Aspa" entre  $-30^\circ\text{C}$  y  $-22^\circ\text{C}$ . Por su parte la  $T_2$  variaba de  $-8,3^\circ\text{C}$  a  $-6,3^\circ\text{C}$ .

Teniendo en cuenta la ausencia de cubos de sal (NaCl) a temperatura ambiente, y que no llegaban a formarse durante el enfriamiento, hemos de concluir que nos hallamos lejos del límite de saturación, y por tanto en un nivel de salinidad moderado. Además, el hecho de que el hielo comience su fusión a una  $T_1$  inferior a los  $-21,1^\circ\text{C}$  (temperatura eutéctica del sistema NaCl—H<sub>2</sub>O, que corresponde a un 23,3 por 100 de NaCl) es un indicador de la posible presencia de algún ion tal como Ca<sup>++</sup> o Mg<sup>++</sup>, normales en este tipo de soluciones y que suelen acompañar en más o menos cantidad a los iones Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup>, que suelen ser siempre dominantes.

Para este tipo de soluciones complejas, con iones diferentes a los Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup>, siempre existe una indeterminación en cuanto al conocimiento cualitativo y cuantitativo de las mismas, por un medio indirecto como es el de la medida de  $T_1$  y  $T_2$ . Sin embargo, el determinar el contenido en "equivalente de cloruro sódico" —suponiendo que toda la sustancia disuelta sea NaCl— es práctica usual en este tipo de estudios, y resulta con todo muy útil para la caracterización de las soluciones, y también para su correlación. Ese contenido en "equivalente de cloruro sódico" se determina en función de la  $T_2$ , utilizando la curva de equilibrio del sistema

NaCl—H<sub>2</sub>O (ROEDDER, 1962; SABOURAUD-ROSSET, 1972).

En nuestro caso, y de acuerdo con el intervalo de variación de las  $T_2$ , las salinidades serían del orden del 10 al 12 por 100 en "equivalente de cloruro sódico". La indeterminación que cabría tener, dada la forma de la curva con dos ramas que se hacen tangentes en el punto autéctico, queda resuelta por el hecho de no tener formación de "hidrohalita", lo que indica que nos hallamos en la rama de menores salinidades.

Por lo que respecta a las inclusiones secundarias, vemos que en los sistemas estudiados crioscópicamente, su  $T_2$  anda por los  $-2^\circ\text{C}$ . Por consiguiente su salinidad en "equivalente de cloruro sódico" será del orden de 3 a 4 por 100. Se ve, pues, una clara diferencia de composición —y por tanto de origen— entre las inclusiones primarias y las secundarias en la zona del "Cueto".

### Las temperaturas de homogenización.

Mediante la platina empleada, y una vez realizado el ensayo crioscópico, se pasa a la fase de calentamiento, y a la determinación de las temperaturas a que desaparece totalmente la burbuja de gas y la inclusión se hace monofásica. Los resultados, después de corrección, se reproducen en el histograma representado en la figura 2, que corresponde solamente a las inclusiones primarias de la fluorita del "Cueto". En él observamos que el máximo está en el intervalo de temperaturas  $+150^\circ\text{C}$  a  $+140^\circ\text{C}$ . Dentro de ese intervalo tendríamos no sólo la "moda" sino también la "media" del conjunto. Estas temperaturas son muy similares a las encontradas hasta ahora en depósitos análogos de diversas partes del mundo.

Las inclusiones secundarias, esencialmente en planos (111), se caracterizan por presentar intervalos de dispersión de sus temperaturas de homogenización muy pequeños; lo que equivale a decir que las inclusiones de un mismo sistema y dispuestas a lo largo de un mismo plano, homogenizan prácticamente a la misma temperatura. En este caso se evidencian varios sistemas, desde las que homogenizan a temperaturas muy próximas a las de las primarias —y a las que cabría conceptualizar como "seudosecundarias", siguiendo a YERMAKOV, 1950—, hasta otras de temperatura muy inferior —del orden de los  $80^\circ\text{C}$ — que serían mucho más tardías.

### B) La Cabaña.

La mayoría de los datos obtenidos en este caso, lo fueron sobre muestras de la fluorita incolora y transparente, relativamente tardía en el conjunto de la paragénesis, en la que se presentan las inclusiones petrolíferas. Un estudio más amplio de este ya-

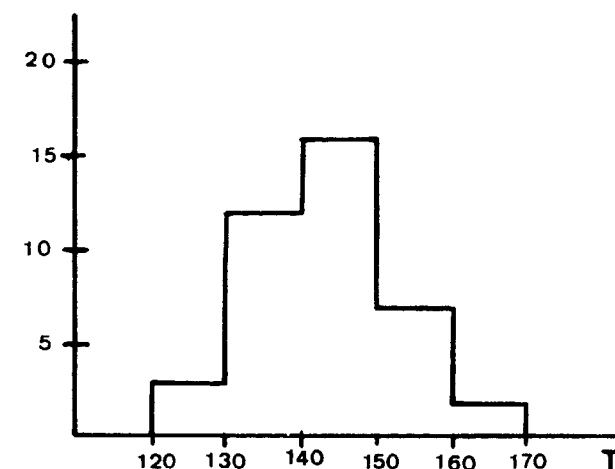


Figura 2

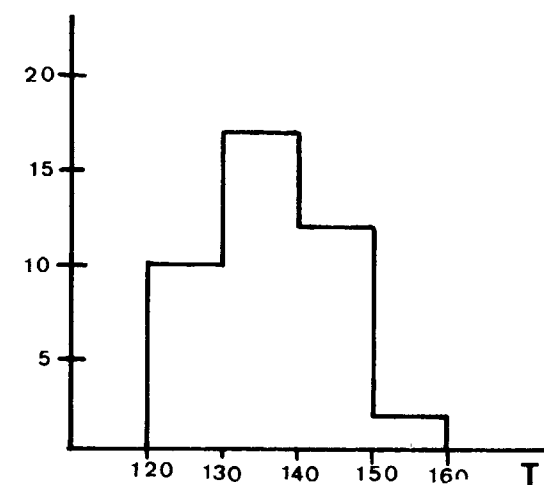


Figura 3

cimiento, y de su interpretación genética, utilizando los datos deducidos de esas inclusiones, se puede hallar en García Iglesias y Touray, 1977. Aquí, el trabajo realizado se basa sólo en las inclusiones no petrolíferas, es decir, en inclusiones bifásicas constituidas por solución acuosa y gas, con el fin de tener datos comparables con los del "Cueto del Aspa" y

poder establecer correlaciones en base a inclusiones análogas.

También se han analizado muestras de una fluorita de tonalidades rosa-violáceas, que dentro de la

#### Datos crioscópicos.

Los ensayos crioscópicos se realizaron solamente sobre muestras de fluorita con inclusiones petrolíferas. Los resultados se hallan representados en el gráfico de la figura 7, en donde puede verse la clara diferencia entre el comportamiento de las inclusiones primarias y las secundarias. Aquellas evidencian unos valores muy homogéneos y con escasa dispersión, presentando valores de  $T_1$  (temperatura de comienzo de fusión del hielo) del orden de  $-35^\circ\text{C}$ , y de  $T_2$  (final de fusión) en torno a los  $-20^\circ\text{C}$ . Si calculamos el "equivalente de cloruro sódico" que corresponde a esos valores de  $-20^\circ\text{C}$ , encontramos que sería del orden de un 22 por 100 de NaCl. Teniendo en cuenta la ausencia de cristales de "hidrohalita" a temperatura ambiente, e incluso que ni siquiera lleguen a formarse durante el enfriamiento, hemos de concluir que el contenido real en NaCl ha de ser inferior, y que los valores de  $T_1$  y  $T_2$  son debidos en buena parte a la presencia de iones del tipo  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ .

Debe tenerse en cuenta que la importancia cuantitativa de esos iones (en general iones que no sean  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) tiene un índice en la diferencia entre el valor real de  $T_1$  y el teórico que le corresponde a una solución verdadera de NaCl, y que es el de  $-21,1^\circ\text{C}$ .

En cuanto a las inclusiones secundarias se observa no sólo una mayor dispersión de los datos, sino la existencia de dos tipos bien diferenciados, siendo uno de ellos de comportamiento análogo al de las inclusiones primarias, y con un contenido en "equivalente de cloruro sódico" similar; posiblemente se trate de un grupo de inclusiones más viejo, en relación con el otro tipo, que presenta salinidades muy inferiores, con valores de "equivalente en cloruro sódico" entre 2 y 10 por 100. Por otra parte, este segundo grupo de baja salinidad, y que lógicamente cabe considerar como más tardío, son mucho más abundantes. Incluso algunas de estas inclusiones se comportan como verdaderas soluciones NaCl— $\text{H}_2\text{O}$ , al presentar valores de  $T_1$  en el punto  $-21,1^\circ\text{C}$ . La dispersión que encontramos en los datos referentes a las inclusiones secundarias son lógicos, ya que ese tipo de inclusiones suelen producirse a lo largo de un tiempo muy grande, desde los momentos mismos del crecimiento o desarrollo del cristal (seudosecundarias), hasta etapas muy tardías e incluso actuales; y por tanto el quimismo de las soluciones puede variar, consecuentemente,

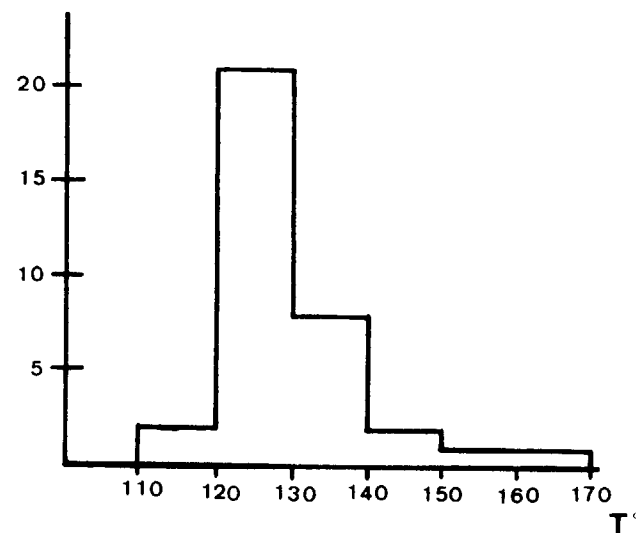


Figura 4

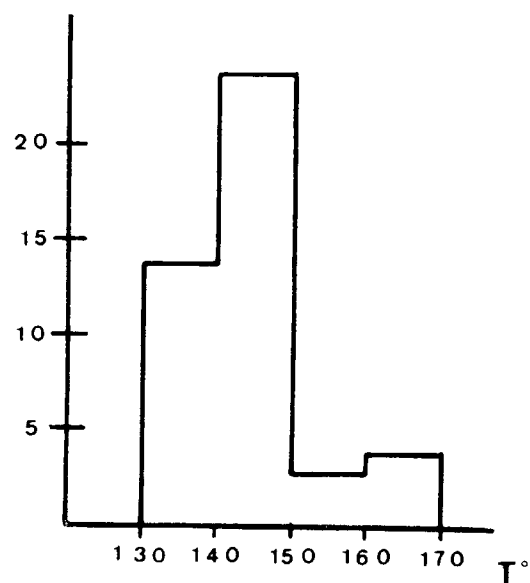


Figura 5

misma zona de "La Cabaña" parece ser anterior a la fluorita incolora que lleva inclusiones de petróleo. En aquella sus inclusiones no poseían hidrocarburos, sino sólo la fase acuosa y la burbuja correspondiente (fotos 1 a 4).

entre el que presentan las mismas inclusiones primarias y el de aguas actuales de naturaleza "vadosa", pasando por estados intermedios de soluciones de naturaleza mixta por fenómenos de mezcla entre aguas juveniles, connatas y vadosas. En nuestro caso

con punto de fusión bien definido, de la casa Merck. En los ensayos crioscópicos se utilizaban como patrones agua pura, n-dodecano, n-decano, n-heptano y metilciclopentano.

Los resultados obtenidos se reflejan en los gráficos de las figuras 3 a 5, todas ellas correspondientes a inclusiones primarias. El histograma de la figura 5 corresponde a cristales de tonalidad violeta, abundantes en huecos y fracturas del zócalo y presumiblemente anteriores a los que presentan los indicios petrolíferos, que por otra parte son propios de zonas más altas del depósito. Los datos correspondientes a estos segundos los hemos separado en dos grupos: los de la figura 3 serían datos correspondientes a inclusiones primarias anteriores a la fase petrolífera, y por tanto de zonas más interiores en los cristales estudiados; y el histograma de la figura 4 correspondería a inclusiones primarias contemporáneas con la fase petrolífera y, por tanto, algo más tardías con relación a las anteriores. Al comparar esos histogramas se observa como aparece un gradiente de temperatura desde la fase primera representada —la de la figura 5, correspondiente a la fluorita de tonalidades violetas— y la fase de inclusiones petrolíferas. La temperatura de la primera, análoga a la que presenta el histograma de la zona de "Cueto del Aspa", estaría en el intervalo  $140^\circ\text{C}$  a  $150^\circ\text{C}$ ; y la más tardía presenta un histograma con su máximo representativo en el intervalo  $120^\circ\text{C}$  -  $130^\circ\text{C}$ . Debe tenerse en cuenta que estos valores son relativos, ya que hacemos abstracción de las correcciones de presión que serían necesarias para dar valores absolutos de temperaturas, y poder determinar las variaciones reales entre unas fases y otras; es decir, la caída de temperatura entre el momento en que en el depósito se está formando la fluorita violeta, y aquel, posterior, en que nace la fluorita que atrapa gotas de petróleo. Estos datos parecen estar de acuerdo con el modelo de génesis propuesto en otro trabajo (García Iglesias y Touray, 1977), que supone una caída progresiva de presión y temperatura durante el asentamiento del conjunto de la paragénesis que constituye el yacimiento.

Por lo que respecta a las inclusiones secundarias, y refiriéndonos a las de la fluorita tardía y "petrolífera", se observan diferentes sistemas, con temperaturas que van desde los  $120^\circ\text{C}$  -  $130^\circ\text{C}$  hasta otras con temperaturas de homogeneización muy inferiores, del orden de los  $70^\circ\text{C}$  -  $80^\circ\text{C}$ . Los sistemas con temperaturas más altas —análogas a las de ciertas

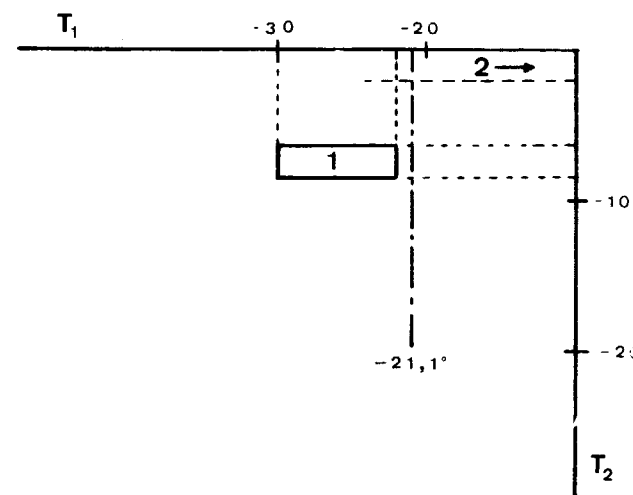


Figura 6

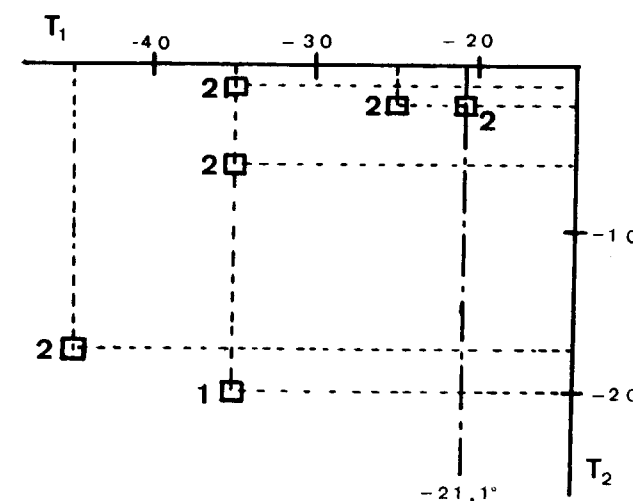


Figura 7

deberíamos admitir la influencia de aguas de naturaleza petrolífera.

#### Las temperaturas de homogenización.

Los datos que aquí se ofrecen, como los anteriores, ya han sido corregidos utilizando patrones



inclusiones primarias que acompañan a inclusiones petrolíferas de ese tipo—, probablemente son del tipo definido por Yermakov como “seudosecundarias”, dada la ausencia de caída de temperatura entre unas y otras.

La existencia de un gradiente de temperatura, al que ya nos hemos referido, es, pues, más patente al comparar las diferencias entre las temperaturas de homogenización de los sistemas de inclusiones secundarias, yendo desde las condiciones propiamente genéticas de las “seudosecundarias”, hasta las más bajas de las inclusiones más recientes. Hoy día, datos como éstos hacen impensables teorías genéticas de baja temperatura, como pudieran ser las que traten de justificar una génesis ligada a aguas kársticas simplemente. Aquí la morfología kárstica es un factor estructural pero no genético, en la formación del yacimiento.

### CONCLUSIONES

Al comparar los datos obtenidos con los correspondientes a yacimientos similares de otros lugares (ROEDDER, 1963), vemos que la fluorita de la zona de “Cueto del Aspa” presenta salinidades y temperaturas de homogenización análogas a las de otros yacimientos “epitermales”. Por el contrario, en la zona de La Cabaña, si bien cabe conceptuar las temperaturas de homogenización como normales, dentro de las que suelen presentar este tipo de depósitos, en cambio las salinidades son superiores a las que cabe considerar como usuales en depósitos análogos de fluorita. El hecho de que las inclusiones de la fluorita incolora de “La Cabaña” presenten una salinidad mayor, habría que considerarlo motivado por la influencia de aguas petrolíferas, que se mezclarían a las juveniles.

Si correlacionamos los datos obtenidos en los dos depósitos aquí estudiados, podemos sacar las siguientes conclusiones:

1. La fluorita en la zona del “Cueto del Aspa” se habría depositado a lo largo de un período de tiempo en el que las condiciones físico-químicas del medio han permanecido prácticamente constantes, sin gradiente sensible de temperatura ni cambios notables en el quimismo de las soluciones. Se trataría de un dominio, pues, más “cerrado”, quizá relacio-

nado con el carácter menos detrítico y por tanto más impermeable de los terrenos permotriásicos, en comparación con la inmediata zona de “La Cabaña”.

2. En esta segunda zona hemos de suponer que existe un gradiente de temperatura, que va desde condiciones propiamente “hidrotermales” y análogas a las existentes en la inmediata zona del “Cueto del Aspa”, durante las cuales se forma la fluorita de tonalidad violeta y sin inclusiones de petróleo, hasta el momento de la llegada de fluidos petrolíferos causantes de cambios en las condiciones físico-químicas del medio. Como vemos en los histogramas de temperaturas, la fluorita violeta de “La Cabaña” presenta un máximo en el intervalo 140° - 150° C (figura 5), como en “El Cueto”, para tener después, en la fluorita incolora, temperaturas máximas inferiores en unos 10° C primero (fig. 3); y luego, coincidiendo con la formación de zonas terminales de cristales en las que se localizan las inclusiones de petróleo, temperaturas inferiores en unos 20° C con respecto a las iniciales. Ese gradiente de temperatura se evidencia en otro estudio de minerales de la paragénesis que acompañan a la fluorita (García Iglesias y Touray, 1977), datos con los que concuerdan los aquí presentados. No se olvide que en este caso, como ya se advirtió, no se han efectuado correcciones de las temperaturas por efecto de presión (ROEDDER, 1963).

3. También encontramos diferencias sensibles en cuanto a las salinidades de las inclusiones. En “El Cueto del Aspa” tenemos valores más bajos que en la fluorita incolora y petrolífera de “La Cabaña”, careciendo de datos sobre la salinidad de la fluorita violeta de esta zona. La suposición lógica que cabe hacer ante ese aumento de salinidad es: que se deba a la llegada de aguas “petrolíferas” en abundancia a la zona de “La Cabaña” y no a la del “Cueto”. Por otra parte, la comparación de las inclusiones primarias y secundarias de “La Cabaña” indica un descenso en la salinidad del medio, lo que está también en acuerdo con las conclusiones deducidas por García Iglesias y Touray (1977) del estudio comparativo entre las salinidades de inclusiones en la fluorita y en otros minerales más tardíos de la paragénesis.

4. En suma, la conclusión que cabe establecer es que nos hallamos ante un único proceso generador “hidrotermal”, con un depósito representa-

tivo del mismo como es el del “Cueto del Aspa”; y que las singulares características que se presentan en la zona de “La Cabaña” se deban a la llegada posterior, coincidiendo con fases tardías del dominio hidrotermal, de fluidos “petrolíferos”, que prácticamente sólo afectan a esta segunda zona. Ello justificaría ampliamente las diferencias de temperaturas que parecen darse, así como las distintas salinidades.

5. Finalmente cabe señalar el evidente interés de la zona para efectuar prospecciones petrolíferas dentro de la plataforma, ya que del estudio de los indicios de “La Cabaña” se deduce la existencia de una migración de petróleo, contemporánea con las últimas fases de génesis del yacimiento de fluorita, las cuales coinciden probablemente con la activación de las fracturas del zócalo carbonífero y el abombamiento de la cobertera durante el Lías.

### AGRADECIMIENTO

El presente trabajo ha sido realizado por su autor en el seno del “Equipe de Recherche núm. 45 del CNRS”, del que es Director el Profesor G. Deicha, y a quien he de agradecer la acogida prestada y los consejos recibidos. Al Profesor J. C. Touray agradezco la corrección del manuscrito; también los consejos y ayudas durante la realización material de los trabajos; así como a C. Sabouraud y N. Guilhaumou. Al Profesor A. Jauzein he de agradecer, como director de los Laboratorios de Geología de la Escuela Normal Superior, en París, la posibilidad de haber utilizado sus instalaciones y equipos correspondientes para el estudio de inclusiones fluidas.

Finalmente, agradezco a la Fundación March la concesión de la beca que me fue otorgada, con el fin de hacer viable la introducción de estas técnicas de investigación en los programas de trabajo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo.

### BIBLIOGRAFIA

- BARLIER, J.; TOURAY, J. C., y GUILHAUMOU, N.: *Des témoins d'une genèse d'hydrocarbures liquides et gazeux inclus dans des quartz en gisement dans la nappe de l'Autapie (Alpes-de-Haute-Provence)*. C. R. Acad. Sc. París, t. 277, serie D, 2297-2300 (1973).
- GARCÍA IGLESIAS, J.: *Morphologie des cavités de corrosion de la fluorite*. “Bull. Soc. Fr. Min. Crist.”, 99, 85-87 (1976).
- GARCÍA IGLESIAS, J.: *Los yacimientos de fluorita de Asturias*. Fundación Juan March, Madrid (inédito) (1972).
- GARCÍA IGLESIAS, J. y TOURAY, J. C.: *Hydrocarbures liquides en inclusion dans la fluorite du gisement de La Cabaña (Berbes, Asturias), España*. “Bull. Soc. Fr. Min. Crist.”, 99, 117-118 (1976).
- GARCÍA IGLESIAS, J. y TOURAY, J. C.: *A fluorite-calcite-quartz paragenesis with liquid and gaseous organic inclusions at Berbes, Asturias fluorspar district Spain*. *Economic Geology*, 72, 298-303 (1977).
- ROEDDER, E.: *Studies of fluid inclusions I: Low temperature application of a dual purpose freezing and heating stage*. “Econ. Geol.”, 57, 1045-1061 (1962).
- ROEDDER, E.: *Studies of fluid inclusions II: Freezing data and their interpretation*. “Econ. Geol.”, 58, 167-211 (1963).
- ROEDDER, E.: *Metastable superheated ice in liquid-water inclusions under high negative pressures*. “Science”, vol. 155, núm. 3768, 1413-1417 (1967).
- ROEDDER, E.: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. Holt, Rinehart and Winston, New York, p. 515-574 (1967).
- SABOURAUD-ROSSET, C.: *Microcryoscopie des inclusions liquides du gypse et salinité des milieux générateurs*. “Rev. Géogr. Phys. Geol. Dyn.”, vol. XIV, fasc. 2, marzo-abril. París (1972).
- YERMAKOV, N. P.: *Research on the nature of mineral forming solutions*. Trd. inglesa del original ruso en vol. 22 de “International Series of Monographs in Earth Sciences”. Pergamon Press, 1965. Oxford (1950).

Recibido: Marzo 1977.



## Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXIII Campamento para Prácticas de Geología "Benasque 1977"

Por L. M. RIOS, F. J. BELTRAN, J. M. LANAJA y F. J. MARIN

### 1. INTRODUCCION

Como en años anteriores se ha desarrollado durante el mes de julio en los Pirineos el Campamento para Prácticas de Geología que este año tuvo de nuevo como base Benasque en donde fueron recibidos los participantes el día 4 de julio y en donde se celebró la comida de clausura el día 23.

Fue Director don José María Ríos García, Catedrático de la Escuela de Minas de Madrid, y, Codirector, don Adriano García-Loygorri, Doctor Ingeniero de Minas y Profesor de Prácticas y de Campamentos de la misma Cátedra.

Fueron instructores Luis María Ríos Aragüés, Doctor Ingeniero de Minas, Francisco José Beltrán Cabrera, Geólogo, José María Lanaja del Busto, Ingeniero de Minas y Francisco José Marín Blanco, alumno de 5.º Curso de la Escuela; todos ellos del Grupo de Trabajo de la Cátedra de Geología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

Julián Vega Esteban, Ingeniero Técnico de Minas y Maestro de Laboratorio, desempeñó una vez más con eficacia la labor de Secretario.

Debido al aumento de los costes de manutención, alojamiento y transporte de los equipos, hubo que limitar el número de plazas para alumnos participantes a 15. La procedencia de los mismos, cuya lista se incluye en un apéndice, se distribuye de la manera siguiente:

Universidad de Kraków (Polonia) ...	1
Universidad de Ljubljana (Yugoslavia) ...	1
Universidad de Atenas ...	3
Universidad de Oviedo ...	3
Universidad de Granada ...	2
Universidad de Madrid ...	1
Universidad de Zaragoza ...	1

Escuela Técnica de Minas de Cartagena ...	1
Escuela Técnica de Minas de Linares ...	1
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid ...	1

Con los cuatro instructores, secretario y un conductor, se llega a un total de 21 participantes.

Es lamentable, que debido a lo sobrecargado del plan de estudios con exámenes finales que se prolongan hasta mediado el mes de julio, sea bastante reducido el número de alumnos de la Escuela de Minas de Madrid que acuden al Campamento en los últimos años.

### 2. DESARROLLO DEL CAMPAMENTO

El valle del río Esera (Benasque) es la parte más oriental del área del Pirineo donde los Campamentos han tenido lugar hasta ahora. Se ha llegado prácticamente al borde oeste de la cartografía 1:25.000 del Paleozoico realizada por P. H. W. MEY, 1967, en la que que no parece oportuno insistir.

Así, pues, para el verano que viene se prevé cambiar de área volviendo a la zona del río Gállego con base en Panticosa, donde tuvo lugar el Campamento número 1 en el año 1955, con el fin de revisar y completar la labor realizada entonces.

Durante el XXIII Campamento, el último de Benasque, se han estudiado algunos de los problemas que quedaban pendientes en el Paleozoico de las hojas de Liena, Bielsa y Benasque, y se han completado lagunas de cartografía igualmente en el Paleozoico de las hojas de Liena y Bosost. Está prevista la próxima publicación de una síntesis que reúna de manera ordenada los resultados en el área del Paleozoico cubierta por los Campamentos con base en Bielsa y en Benasque.

El desarrollo de este Campamento se vio seriamente dificultado por el mal tiempo. Así como en otros años se trataba de tormentas más o menos espaciadas, durante éste hubo de soportarse un continuo temporal de frío, lluvia o nieve. Algunos de los participantes recordarán durante mucho tiempo la acampada sobre, y debajo de la nieve en el fatídico circo de Machimala, a 2.600 metros de altitud. No obstante, todos los participantes supieron hacer gala de un excelente ánimo para hacer frente a las inclemencias del tiempo, así como de un magnífico espíritu de compañerismo.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

#### 3.1. HOJA DE LIENA.

Se ha completado la cartografía del Paleozoico inferior adaptándose en lo posible a las formaciones definidas en el XXII Campamento.

En la parte oriental, el contacto del Ordoviciense con el granito porfídico de Lys-Caillaouas se hace sin falla. Esto se observa con nitidez en la cresta fronteriza con Francia. El Ordoviciense predominante cuarcítico conserva su esquistosidad en las proximidades de la gran masa de granito excepto en los dos metros próximos al contacto que están recrystalizados sin dirección preferente. En las cercanías del contacto mayor hay dos o tres apófisis de granito porfídico que no alteran aparentemente la textura del Ordoviciense encajante. Estos apófisis tienen la forma de diques de algunos metros de potencia paralelos a la esquistosidad.

#### 3.2. HOJA DE BOSOST.

En la zona del Plan d'Estan se extendió el área cartografiada hasta el límite con la provincia de Lérida.

En el borde norte del macizo de la Maladeta el contacto del granito con las formaciones del Devoniano y Carbonífero es sin falla.

#### 3.3. HOJA DE BIELSA.

Se ha analizado con mayor detalle la estructura de los pliegues del Devoniano entre el collado de Sahaún y el granito del macizo de Los Millares (también llamado de Eriste) cartografiados anteriormente (memoria del XX Campamento).

Estos pliegues son atribuibles a la fase segunda ya que muestran una total independencia estructural respecto a la posición del granito, al contrario de lo que ocurre con las trazas axiales de fase tercera al N del granito del Posets que lo contornean (XXI y XXIII Campamentos). En la figura 1 se muestra sobre estereograma (proyección sobre el hemisferio superior) la esquistosidad de flujo de

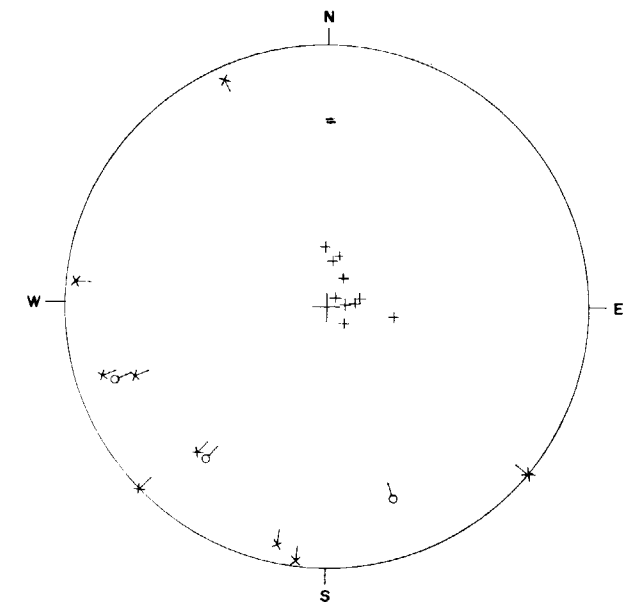


Figura 1

Devoniano al N del collado de Sahaún

la fase segunda bien agrupada, mientras que las lineaciones y ejes medidos de la misma fase están dispersas dentro del plano de esquistosidad. Este estereograma es típico de la presencia de una deformación previa de directrices más o menos transversas a las de la fase segunda y que se corresponde por lo tanto con la primera fase citada frecuentemente en la literatura como de dirección N-S.

#### 3.4. HOJA DE BENASQUE.

##### 3.4.1. Riolita del pico Cerler y otras vulcanitas del entorno.

El pico Cerler tiene una forma piramidal que se destaca unos 500 metros en el paisaje visible desde los pueblos de Benasque o Cerler. Corresponde a un afloramiento más o menos circular de 1,5 km de diámetro de una roca ígnea encajante en el Devoniano y que en anteriores trabajos fue considerada como granodiorita. Se han recogido diversas muestras cuyo estudio indica la presencia de fenocristales de albita (más o menos sericitizada) en una pasta desvitrificada felsítica de cuarzo y albita sericitizada. Los ferromagnesianos (probablemente biotita) están transformados en clorita. Accesorariamente aparecen apatito, circon y esfena. Presenta huecos con cuarzo y calcita pos-

teriores. Su composición corresponde a una riolita o quizá latita cuarzosa.

En las proximidades del pico Cerler, es decir, en las pizarras devonianas de la cresta del pico Cogulla y de las faldas sur y oeste de los picos Labert, se encuentran interestratificaciones hasta de algunos metros de rocas que probablemente están relacionadas genéticamente con la riolita del pico Cerler. Se trata en unos casos de lavas con fenocristales de plagioclasa sericitizada en una matriz de grano finísimo rica en vidrio ácido más o menos desvitrificado y con recitización. En otros casos son tobas líticas o lítico-vitreas con fragmentos de pizarras, traquitas, riolitas (hasta de 4 cm) y cuarzo de origen volcánico.

### 3.4.2. Falso Triásico pellizcado en cabalgamientos.

En la memoria del XXII Campamento se señala en el área al N de Castejón de Sos, más concretamente al N de Liri, la presencia de una formación carbonatada muy brechificada y recrystalizada, que llega a tener, a veces, aspecto carnioloso, y otras resulta una brecha poligénica (presencia de elementos de cuarcita) de cemento carbonatado y recrystalizado. En el mapa de WENNEMERS (1968) figura como Keuper. Sin embargo, las carniolas del Triásico nunca tienen elementos de cuarcita. Podría pensarse en una brecha tectónica ligada a la superficie de un cabalgamiento alpino en que hubiera quedado el Triásico pellizcado y mezclado con elementos del Paleozoico (cuarcitas de la formación Basibé, MEY, 1967). No obstante, por la concurrencia de los hechos siguientes:

- ausencia de Bundt, ni siquiera como elementos,
- cartográficamente la formación se encuentra entre la alternancia del Devoniano  $D_1$  (formaciones Aneto + Gelada) y las pizarras del Devoniano  $D_3$  (formación Fonchanina),
- cartográficamente no se dibuja un cabalgamiento,
- permaneciendo entre  $D_1$  y el  $D_3$  se pasa lateralmente a la formación Basibé  $D_2$ ,

se trata de la formación Basibé (alternancia de caliza, dolomía y cuarcita) que, ya sea por causas sedimentarias (remoción) o tectónicas, ha sufrido un proceso de brechificación-dedolomitización-recrystalización.

A la vista de este resultado pareció interesante revisar otros afloramientos de Keuper englobado en el Paleozoico en áreas situadas más hacia el Este según la cartografía de los geólogos holandeses (MEY, 1967, MEY, 1968, WENNEKERS, 1968), máxime cuando dichos afloramientos habían sido dados como Cretáceo superior en la tesis de M. SEGURET (1970) con las repercusiones paleográficas que ello podía tener a la hora de reconstituir la cadena alpina. En el circo de Castanesa (alto Baliera) estos afloramientos tienen la misma facies que en Liri y puede dedu-

cirse igualmente en el campo el paso lateral a la formación Basibé.

En la zona del río Llauset (al NO del pueblo de Aneto) se ha visitado el afloramiento atribuido al Keuper en el mismo lugar de corte descrito detalladamente por MEY (1967 y 1968). La serie (45 m) que se compone de una alternancia de pelitas, psamitas y niveles carbonatados a veces recrystalizados y brechoides es diferente de los afloramientos anteriores. Presenta de una manera general un mosqueado blanco que corresponde a porfiroblastos de escapolita. Prescindiendo de la ausencia de coloraciones abigarradas, esta serie podría ser correlacionada con tramos del Muschelkalk-Keuper, como hace MEY aunque reconoce que resulta extraño que el Bundt esté ausente.

Sin embargo, este autor tiene cartografiada una "apli-ta" encajante en esta serie. Se ha recogido una muestra, que corresponde a un gabro-diorita uralitizado, el cual presenta textura granuda; componentes principales: plagioclasa cálcica, hornblenda; componentes secundarios: epidota, actinolita-tremolita, moscovita; componentes accesorios: opacos, cuarzo intersticial. La presencia de esta intrusión parece descartar una edad mesozoica para la serie encajante. Lo más sencillo es considerarla como perteneciente a la parte alta del Ordoviciense ya que cartográficamente constituye el núcleo de una gran mancha de Silúrico.

### 3.4.3. Deformación fluida en calizas, probablemente alpina, en Vallibierna.

La serie devoniana de Vallibierna constituye el flanco norte del anticlinorio de la Sierra Negra con núcleo silúrico. Las directrices cartográficas de dicho anticlinorio N130E son las correspondientes a la fase 2, principal, con esquistosidad de flujo bien desarrollada en las pizarras y que en las calizas se manifiesta como unos planos discretos constituidos por material pelítico que pueden explicarse como esquistosidad de presión-disolución. Esto se observa por ejemplo en la esquistosidad de plano axial del anticlinal dibujado por la alternancia caliza-pizarra de base del Devoniano, justo encima de la pequeña central eléctrica inmediatamente aguas abajo del puente de San Jaime, sinclinal que pertenece al anticlinorio de la Sierra

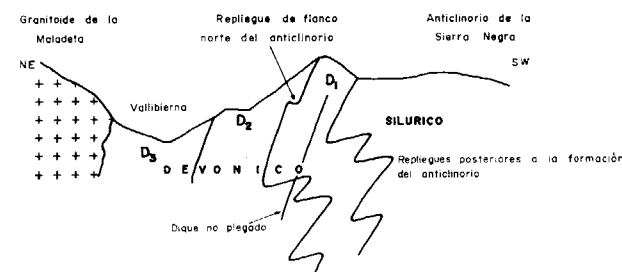
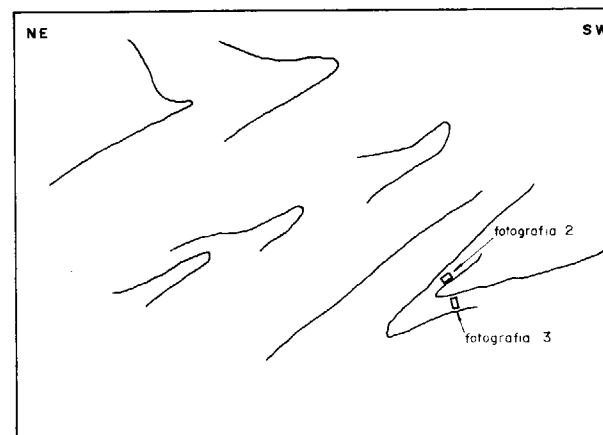


Figura 2

Negra y que es contemporáneo con éste. En este sinclinal no hay señales de deformación posterior a la fase 2.

En el corte esquemático de la figura 2 se planteaba en la memoria del XXI Campamento el problema de la edad de los repliegues no conformes con su situación de flanco norte de anticlinorio y que son posteriores a él.

La fotografía número 1 muestra el aspecto de estos repliegues de los cuales se ha estudiado cuidadosamente



Fotografía 1

En dirección Este, desde el punto de coordenadas Lambert  $x=953,5$   $y=896,8$   $z=2,350$  m. Repliegues en el Devónico del lado sur del valle de Vallibierna.

un sinforme. El estereograma de la figura 3 (hemisferio superior) indica la buena ordenación de los elementos del flanco norte, flanco sur y charnela de dicho sinforme. La fase 3 responsable de estos repliegues es prácticamente coaxial, en esta localidad, con la fase 2. Siguiendo a MEY (1967), estos repliegues de la fase 3 se han debido formar en relación con la ascensión del granito de La Maladeta cuyo borde sur tiene la misma dirección. La esquistosidad

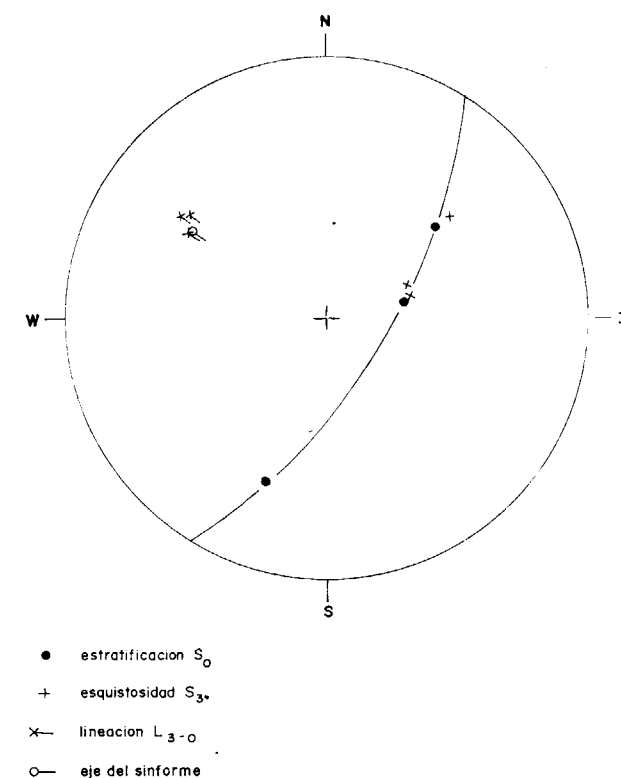


Figura 3

$S_3$  (fotografía núm. 3) se materializa en los niveles calcáreos por superficies de material pelítico.

Posteriormente tiene lugar la intrusión de diques (figura 2). El señalado por MEY (1967), fotografía 18) se compone de cuarzo con algo de moscovita.

El metamorfismo de contacto (fotografía núm. 2) transforma los niveles de pizarra en corneana, de mayor resalte morfológico que los niveles de caliza marmorizada.

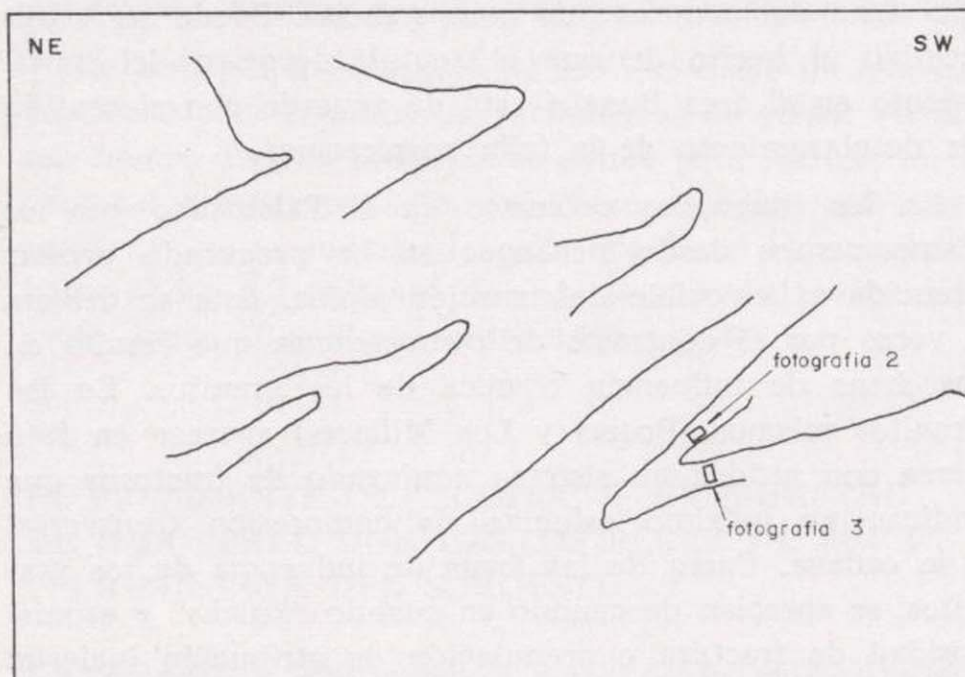
Posteriormente al metamorfismo de contacto tiene lugar un movimiento de vergencia al sur que se manifiesta por un deslizamiento relativo de los bancos rígidos de corneana por el intermedio de los bancos de caliza que se comportan de manera plástica. Este deslizamiento, tanto en el flanco sur como en el flanco norte del sinforme, se realiza de manera que el banco superior se desplaza hacia el sur con relación al banco inferior. Esta es la única manera de explicar el hecho de que, en el flanco sur del antiforme la esquistosidad  $S_3$  se estira, como ocurre en la fotografía número 3 en el banco de caliza más potente y diferenciado donde reposa el lapicero; mientras que en el flanco norte (fotografía núm. 2) la esquistosidad  $S_3$  se pliega en el interior del nivel calcáreo. Si se admite que el metamorfismo térmico de contacto es posterior a las fases hercínicas de plegamiento, este último movimiento es perfectamente atribuible a una fase alpina. En la zona



Negra y que es contemporáneo con éste. En este sinclinal no hay señales de deformación posterior a la fase 2.

En el corte esquemático de la figura 2 se planteaba en la memoria del XXI Campamento el problema de la edad de los repliegues no conformes con su situación de flanco norte de anticlinorio y que son posteriores a él.

La fotografía número 1 muestra el aspecto de estos repliegues de los cuales se ha estudiado cuidadosamente



Fotografía 1

En dirección Este, desde el punto de coordenadas Lambert  $x=953,5$   $y=896,8$   $z=2.350$  m. Repliegues en el Devónico del lado sur del valle de Vallibierna.

un sinforme. El estereograma de la figura 3 (hemisferio superior) indica la buena ordenación de los elementos del flanco norte, flanco sur y charnela de dicho sinforme. La fase 3 responsable de estos repliegues es prácticamente coaxial, en esta localidad, con la fase 2. Siguiendo a MEY (1967), estos repliegues de la fase 3 se han debido formar en relación con la ascensión del granito de La Maladeta cuyo borde sur tiene la misma dirección. La esquistosidad

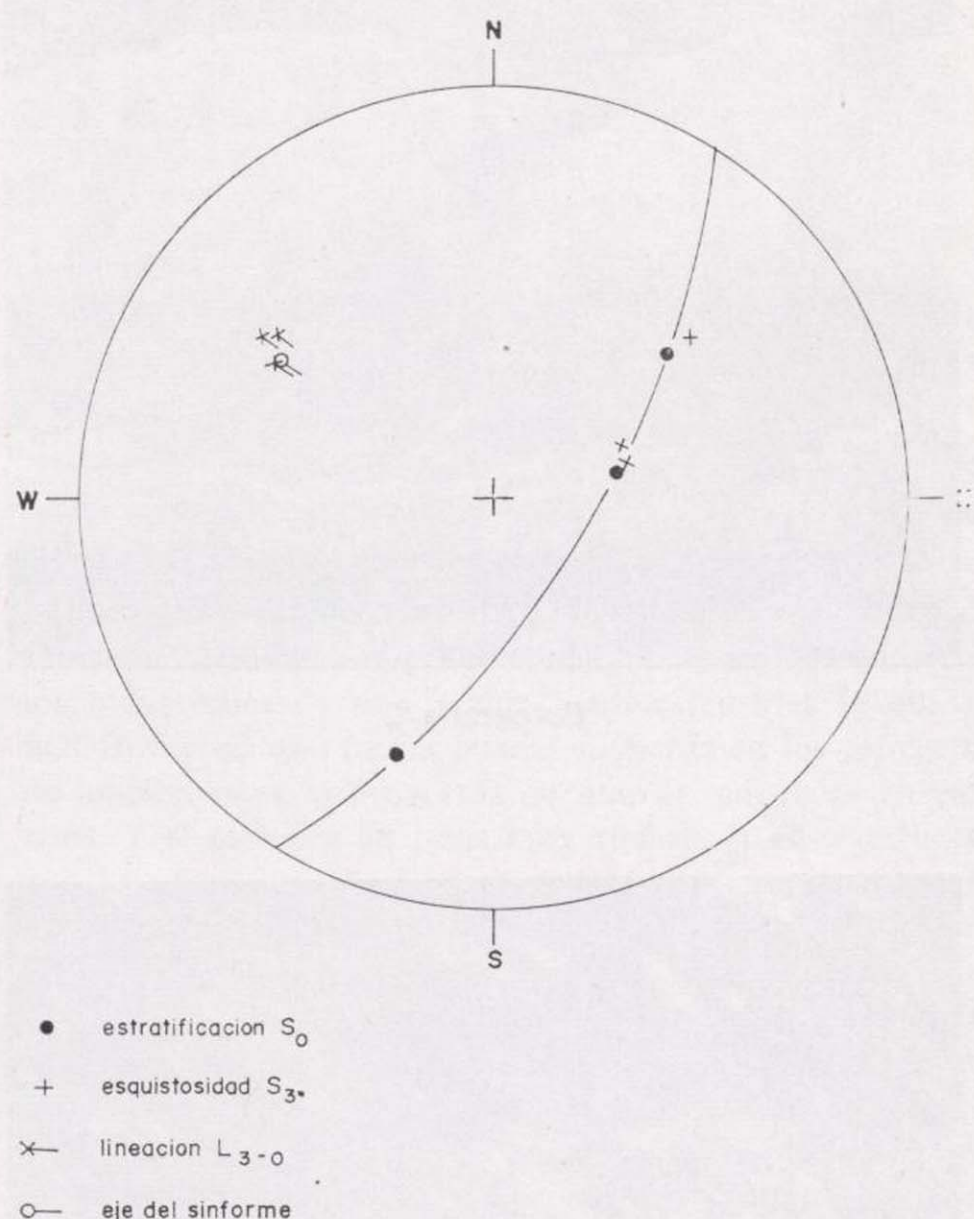


Figura 3

$S_3$  (fotografía núm. 3) se materializa en los niveles calcáreos por superficies de material pelítico.

Posteriormente tiene lugar la intrusión de diques (figura 2). El señalado por MEY (1967), fotografía 18) se compone de cuarzo con algo de moscovita.

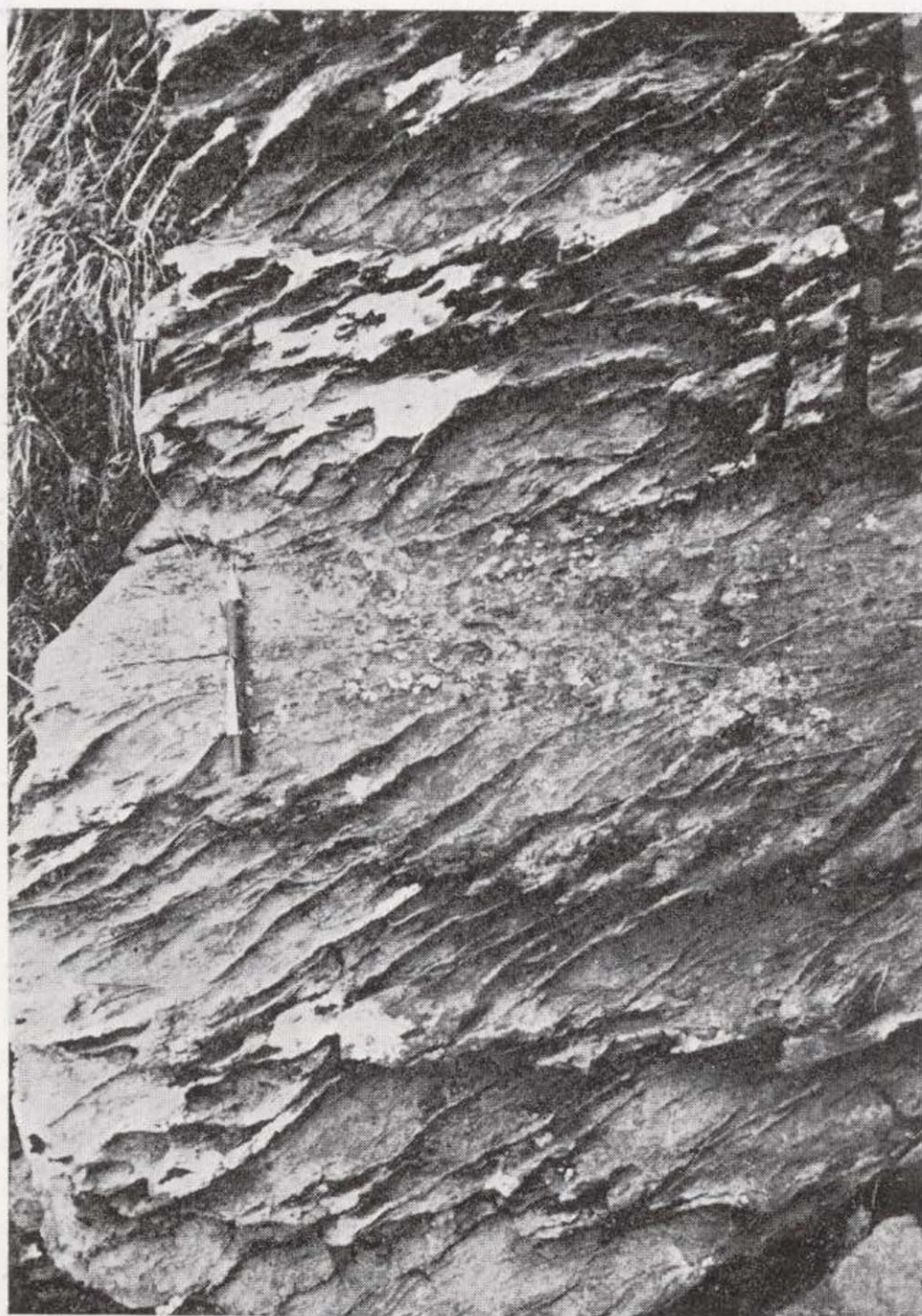
El metamorfismo de contacto (fotografía núm. 2) transforma los niveles de pizarra en corneana, de mayor resalte morfológico que los niveles de caliza marmorizada.

Posteriormente al metamorfismo de contacto tiene lugar un movimiento de vergencia al sur que se manifiesta por un deslizamiento relativo de los bancos rígidos de corneana por el intermedio de los bancos de caliza que se comportan de manera plástica. Este deslizamiento, tanto en el flanco sur como en el flanco norte del sinforme, se realiza de manera que el banco superior se desplaza hacia el sur con relación al banco inferior. Esta es la única manera de explicar el hecho de que, en el flanco sur del antiforme la esquistosidad  $S_3$  se estira, como ocurre en la fotografía número 3 en el banco de caliza más potente y diferenciado donde reposa el lapicero; mientras que en el flanco norte (fotografía núm. 2) la esquistosidad  $S_3$  se pliega en el interior del nivel calcáreo. Si se admite que el metamorfismo térmico de contacto es posterior a las fases hercínicas de plegamiento, este último movimiento es perfectamente atribuible a una fase alpina. En la zona





Fotografía 2



Fotografía 3

de Vallibierna la cuantía de esta deformación no puede ser muy grande ya que queda bloqueada por las charnelas de los pliegues previos las cuales no se rompen. El dique de cuarzo probablemente disminuye solamente algunos grados su buzamiento.

A modo de inciso es interesante señalar que este tipo de deformación (mayor plasticidad en los niveles de caliza marmorizada que en los de metapelita y plegamiento centimétrico de esquistosidad previa en el seno de la caliza) fue observado anteriormente por el Grupo de Trabajo de la Cátedra en el área de la mina de Bonabé, en el alto Pallaresa, al N del granito del Marimaña, igualmente en la alternancia del Devoniano inferior pero de manera mucho más acentuada y general (1974, VII Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos, inédito). En esta área ( $2 \times 4$  km) ocupada por un antiforme previo de flancos subverticales de dirección E-O, el movimiento relativo tiene una componente levógira en planta. Localmente se forman repliegues decamétricos de ejes buzantes o verticales que, siempre y en ambos flancos del antiforme, son del tipo letra "s" en planta, de acuerdo con ese sentido levógiro. Hay una esquistosidad que es la más aparente y generalizada, de valor más frecuente N 100 E/75 S, que ocupa posición de plano axial de dichos repliegues, que es de flujo en los bancos de caliza y de fractura o de crenulación en los bancos de metapelita, y que tiene la refracción en correspondencia con ese signo del contraste de competencias. Puede ser significativo el hecho de que el sentido levógiro del movimiento en el área Bonabé está de acuerdo con el sentido de desplazamiento de la falla norpirenaica.

En los itinerarios cubiertos en el Paleozoico por los Campamentos desde Benasque se ha procurado prestar atención a la posible deformación alpina. Esta se detecta a veces por el contraste de competencias que resulta en las áreas de influencia térmica de los granitos. En los granitos mismos (Posets y Los Millares) aparece en foto aérea con nitidez un sistema conjugado de fracturas que indican un máximo esfuerzo de compresión transversal a la cadena. Fuera de las áreas de influencia de los granitos, se aprecian de cuando en cuando "knicks" y esquistosidad de fractura o crenulación de atribución incierta, pero frecuentemente no hay señales de deformación posteriores a la fase 2.

Se tiene la impresión de que en la región de Benasque (lejos de la falla norpirenaica) lo que más contribuye al acortamiento de la cadena alpina son las fallas de cabalgamiento como la del Collado de Sahaún o la del pico Labert. La deformación penetrativa parece localizarse en determinadas áreas en función de la heterogeneidad de la arquitectura hercínica.





Fotografía 2



Fotografía 3

de Vallibierna la cuantía de esta deformación no puede ser muy grande ya que queda bloqueada por las charnelas de los pliegues previos las cuales no se rompen. El dique de cuarzo probablemente disminuye solamente algunos grados su buzamiento.

A modo de inciso es interesante señalar que este tipo de deformación (mayor plasticidad en los niveles de caliza marmorizada que en los de metapelite y plegamiento centimétrico de esquistosidad previa en el seno de la caliza) fue observado anteriormente por el Grupo de Trabajo de la Cátedra en el área de la mina de Bonabé, en el alto Pallaresa, al N del granito del Marimaña, igualmente en la alternancia del Devoniano inferior pero de manera mucho más acentuada y general (1974, VII Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos, inédito). En esta área (2x4 km) ocupada por un antiforme previo de flancos subverticales de dirección E-O, el movimiento relativo tiene una componente levógira en planta. Localmente se forman repliegues decamétricos de ejes buzantes o verticales que, siempre y en ambos flancos del antiforme, son del tipo letra "s" en planta, de acuerdo con ese sentido levógiro. Hay una esquistosidad que es la más aparente y generalizada, de valor más frecuente N 100 E/75 S, que ocupa posición de plano axial de dichos repliegues, que es de flujo en los bancos de caliza y de fractura o de crenulación en los bancos de metapelite, y que tiene la refracción en correspondencia con ese signo del contraste de competencias. Puede ser significativo el hecho de que el sentido levógiro del movimiento en el área Bonabé está de acuerdo con el sentido de desplazamiento de la falla norpirenaica.

En los itinerarios cubiertos en el Paleozoico por los Campamentos desde Benasque se ha procurado prestar atención a la posible deformación alpina. Esta se detecta a veces por el contraste de competencias que resulta en las áreas de influencia térmica de los granitos. En los granitos mismos (Posets y Los Millares) aparece en foto aérea con nitidez un sistema conjugado de fracturas que indican un máximo esfuerzo de compresión transversal a la cadena. Fuera de las áreas de influencia de los granitos, se aprecian de cuando en cuando "knicks" y esquistosidad de fractura o crenulación de atribución incierta, pero frecuentemente no hay señales de deformación posteriores a la fase 2.

Se tiene la impresión de que en la región de Benasque (lejos de la falla norpirenaica) lo que más contribuye al acortamiento de la cadena alpina son las fallas de cabalgamiento como la del Collado de Sahaún o la del pico Labert. La deformación penetrativa parece localizarse en determinadas áreas en función de la heterogeneidad de la arquitectura hercínica.

## Noticias

### MINERIA

#### COLABORACION MINERA DE ESPAÑA CON ECUADOR, COLOMBIA Y PERU

Más de ciento treinta millones de pesetas lleva invertidos la Empresa Nacional Adaro en Ecuador, Colombia y Perú para garantizar los suministros españoles de cobre y hulla coquizable. En Ecuador, donde se han invertido ya 78 millones de pesetas y está previsto invertir este año otros 45, se están realizando estudiosos en yacimientos de mineral de cobre.

Además, en ese país España está prestando asistencia técnica para la formación de ingenieros, estudio de rocas industriales, adecuación de laboratorios de análisis, etc. Con Ecuador se han firmado ya dos acuerdos en el sector minero en noviembre de 1974 y en febrero de 1977.

Respecto a Colombia, en febrero de 1977 se firmó también un acuerdo técnico para estudio de yacimientos de hulla. Se han invertido hasta este momento 49,7 millones de pesetas y están previstos otros 50 millones en 1978.

Por otra parte, en agosto de 1976 se firmó un convenio con Perú para estudios de yacimientos de cobre. Al mismo tiempo España prestaría su ayuda para realizar un inventario minero peruano, así como estudios sobre geotecnología y rocas industriales. En Perú se han invertido hasta ahora 9,2 millones de pesetas y están previstos invertir otros 40 millones entre 1978 y 1980.

#### EL PRESIDENTE DE "SODIEX" Y EX MINISTRO DE INDUSTRIA, DON CARLOS PEREZ DE BRICIO Y LA MINERIA DEL SUROESTE

Ofrecemos a continuación parte de la entrevista aparecida en el diario "Hoy" del 10 de febrero de Badajoz.

Como indicábamos en nuestra crónica de urgencia de ayer, tras la celebración de la reunión habida con varios industriales de la localidad, con el presidente de SODIEX, señor Pérez de Bricio, y gerente, Carlos Barbáchano --con el que por cierto se acordó una nueva reunión de dichos industriales, a celebrar en Badajoz, en la segunda quincena del mes en curso--, se efectuó una cena de trabajo en el Parador Nacional de Turismo.

En lo relativo a los mármoles de La Alconera, ayer a primera hora de la mañana, los dirigentes de SODIEX pensaban trasladarse a las factorías para estudiar "in situ" posibilidades. Desde allí tenemos entendido seguirían viaje a Jerez de los Caballeros y Fregenal de la Sierra.

Tuvimos ocasión de realizar una amplia charla con el señor Pérez de Bricio, en torno a lo tratado en ambas reuniones, primordialmente en lo que a la minería se refiere. Contestó así a nuestras preguntas:

—Señor Pérez de Bricio: ¿Querría usted ampliarnos datos sobre el tema de la minería y del transporte del gas, del que se ha hablado en ambas reuniones?

—Yo decía que uno de los motivos más importantes de estar en Zafra era en primer lugar tener un contacto con los industriales de esta región, para explicarles lo que es SODIEX y en qué forma puede colaborar en los proyectos de ampliaciones, o proyectos de nuevas industrias en esta zona. Y el otro era un tema muy concreto: el de estudiar con los directivos de la Sociedad Minera de Andévalo la explotación, la puesta en marcha de las minas de hierro que existen en el Sur de la provincia. Debido a las características que tiene el mineral de hierro de la provincia, de alto grado de contenido en hierro, pero con una presencia de alcalís que le hace de muy difícil utilización en la siderurgia nacional, es por lo que, después de haber estado estudiando el problema en Madrid, problema que a mí me preocupaba desde que fui ministro de Industria, hemos llegado a la conclusión de que una de las formas de revitalizar la minería consistiría en la instalación de unas plantas de peletización de estos minerales. De esta forma se conseguiría la eliminación de estas sustancias nocivas y con ello volver a poner en marcha las explotaciones de la minería de hierro en todo el sur de la provincia, alcanzando el que no tuviera rechazo por parte de la siderurgia nacional. Esto es una primera fase en la que estamos involucrados. Luego hemos hablado de un segundo proyecto posible que consistiría en no simplemente peletizar el mineral y venderlo a la siderurgia nacional, sino instalar también una planta de prerreducción. Lo que ocurre es que una instalación de este tipo requiere transformar prácticamente el mineral en hierro puro, para lo que hoy es imprescindible la utilización de un elemento reductor, que es el gas natural. Gas natural que, en España no tenemos, por lo que un proyecto de esta categoría requiere la instalación de un gasoducto, desde Huelva hasta Fregenal de la Sierra, donde prácticamente está el Centro de toda la minería del hierro. Este es un proyecto de mucha mayor envergadura porque además de la inversión de esta planta de prerreducidos que se eleva a los seis mil millones de pesetas, el tema del gasoducto también encierra dificultades financieras importantes. Es un proyecto que estamos estudiando y que simplemente lo he enunciado como posible final de una primera fase que es la de la instalación de las plantas peletizadoras, pero que, indiscutiblemente, tendría con independencia de ese mayor valor añadido que sería,



no el mandar mineral como se ha hecho hace años, no el mandar este mineral convertido en peles, ya libre de sustancias tóxicas y mucho más rico, sino enviar hierro puro, aparte de que ello contribuiría poderosamente a crear una infraestructura energética en toda la provincia de Badajoz, sobre todo en el entorno formado por Zafra, Almendralejo, Mérida, Villanueva, Don Benito, incluso hasta Badajoz, ya que la presencia del gas podría ser una motivación más para la instalación de industrias que requieran este producto energético.

## AGUAS SUBTERRANEAS

### EL DIRECTOR GENERAL DE MINAS E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION EN VISITA A LAS ISLAS CANARIAS ABORDA EL PROBLEMA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Por su interés reproducimos integra la entrevista hecha al Director General de Minas e Industrias de la Construcción don José Sierra aparecida en el "Diario Avisos" de Santa Cruz de Tenerife el pasado 22 de diciembre y que va firmada por don Ricardo Peytavi.

Con objeto de asistir a la IV Reunión Interministerial para los asuntos relacionados con el agua en Canarias, que se celebró el viernes de la pasada semana en Tenerife, se ha trasladado a nuestra isla el director general de Minas, José Sierra López.

Paradójicamente el agua es el único elemento en Canarias que depende de esta dirección general, a la vez que es la única riqueza del subsuelo que no pertenece por derecho a la hacienda pública, y por tanto puede ser explotada de forma privada. Ya dentro del tópico mencionaremos una vez más las consecuencias especulativas que esto lleva consigo, muy bien conocidas por los agricultores sobre todo.

Desgraciadamente en nuestras islas una gran cantidad de agua procedente de las precipitaciones, no siempre abundantes, se pierde irremediamente en el mar. Los embalses, a cuya ausencia se recurría hasta hace poco, a la hora de repartir responsabilidades sobre el gran desperdicio que se hacía de un elemento vital y escaso, han demostrado ser un auténtico fracaso. La porosidad de los terrenos por un lado, y la temperatura y humedad ambiental por otro, hacen que no sea en absoluto rentable recoger el agua en ellos. Frente a esto sólo quedan las excavaciones, más ingeniosas y audaces cada día, para lograr los siempre difíciles alumbramientos. Teniendo en cuenta de que casi el cien por cien del agua disponible en Tenerife proviene del subsuelo se deducirá la importancia de estos milagrosos ríos y depósitos subterráneos. Pero al igual que en el caso de otros productos ocultos en las entrañas de la tierra ha surgido una angustiosa

pregunta, ¿hasta cuándo durarán? El señor Sierra López ha tratado de responder a estas y otras cuestiones, a lo largo de la entrevista que amablemente nos ha concedido.

"Bueno, el motivo concreto de mi visita ha sido asistir a la IV Reunión de la "Comisión Interministerial para los asuntos del agua en Canarias", que se ha creado hace unos meses, y en la que están integrados los ministerios de Obras Públicas, Industria, Agricultura, Interior y los cabildos. Realmente no ha sido una reunión de la Comisión en sí, sino de ella con los órganos asesores que tiene a su disposición, como son el Consejo Consultivo, en el que están representados todos los entes de las islas relacionados con las aguas de alguna forma, y que tiene un comité de dirección que es verdaderamente el cuerpo ejecutivo. La Comisión Interministerial la único que pretende es recibir ideas, estudiar propuestas y servir como nexo de unión entre esa comisión insular y el Gobierno."

—¿De qué se ha hablado concretamente en esta reunión?

"Realmente lo que se está buscando a través de estas reuniones ya que se ha dado el gran paso que supone formar la Comisión Insular y sus órganos, es poner todas las actividades de los distintos ministerios, que puedan tener relación con el tema de las aguas, de manera coordinada al servicio de las islas, pero con la condición de que las prioridades correspondientes de las necesidades, se establezcan desde los mismos órganos de las islas, es decir, que los ministerios no seamos los que desde Madrid planifiquen lo que hay que hacer aquí, sino que surjan de aquí una serie de directrices que sean las que nosotros sigamos. Este es uno de los aspectos fundamentales ya que los programas referentes al tema de las aguas de los ministerios van a ir coordinados de cara al año 78 dentro de un gran proyecto de actuación común, que hay en esa comisión. Otro aspecto muy importante es el que de poco sirven los medios técnicos para resolver los problemas si no existen los instrumentos legales que permitan su eficacia.

Entonces se plantea el gran tema de la administración y legislación de las aguas. Hay un grupo que está estudiando a nivel insular cuales serían los principios básicos que deberían inspirar una legislación sobre las aguas en las islas, de forma que sirva realmente al mejor uso de un bien tan escaso y necesario."

#### EL PROBLEMA

—¿Cómo ve desde su punto de vista el grave problema de las aguas en Canarias?

"Ciertamente es un problema como muy bien dice grave. Repito que de los recursos naturales, el agua es quizás el máspreciado Y lo es de forma cuantitativa y cualitativa, ya que los recursos son escasos y hay que administrarlos bien. Se puede repartir mejor poniendo

los medios técnicos adecuados. Cualitativamente lo es porque la legislación vigente indudablemente no es la más adecuada para la repartición de esos recursos. Por lo tanto, entiendo que debemos actuar en los dos aspectos. El mejorar las técnicas de gestión de los recursos hídricos subterráneos, y el poner a punto una legislación que optimice la aplicación en esas técnicas."

#### LA ESPECULACION

—Es fácil oír muchas quejas en torno a la especulación que existe con el agua. ¿De qué forma se podría modificar la legislación para evitarla?

"Esto es un tema extraordinariamente difícil, complejo y delicado. Tocamos un problema de fondo muy grave, que es el de si las aguas deben ser de dominio público o privado. Ciertamente, de las cosas que discurren por el subsuelo, la única que la legislación española admite como de dominio privado es el agua, ya que todos los demás pertenecen al de carácter público. Esta es una disyuntiva que plantea una serie de problemas históricos y locales, y nuestro punto de vista es, como ya decía antes, que ha de ser desde las propias islas desde donde se den las directrices fundamentales, a través de sus entes representativos, que animen a la futura legislación sobre las aguas.

A mi todo esto siempre me ha parecido bastante complejo, porque un bien tan escaso como es el agua necesita verdaderamente una administración muy cuidada al servicio de la sociedad, y en este sentido la privatización puede tener sus defectos. Lo que no se puede olvidar tampoco es que existe una historia, con unos intereses y unos derechos adquiridos, y eso hay que contemplarlo a la hora de enjuiciar todo este conjunto, y muchos más cara la gestión de futuro. En cualquier caso, lo que si es imprescindible en cualquier tipo de dominio que se establezca es que ese bien se controle de forma muy cuidada dado, el gran beneficio que obtiene la sociedad ante él, y con esto no es que quiera evadirme del tema."

#### PLANES DEL FUTURO

—¿Existen proyectos importantes de perforaciones para un futuro próximo?

"Bueno, hidrográficamente el tema de las aguas en las islas me parece extraordinariamente complejo, y lo que nosotros pensamos es, como ya dije que técnicamente se puede mejorar bastante desde muchos puntos de vista. Desde la mecanización de la galerías la recarga artificial de determinadas zonas, evitar intrusiones salinas, es decir, que hay mucho que hacer, y desde un punto de vista metodológico se podían seguir unos planes que indudablemente cuentan con probabilidades de conducir a un mejor aprovechamiento. Personalmente soy de la opinión de que se puede sacar mucho más provecho de las aguas en Canarias, con una ordenación correcta."

#### OBRAS PUBLICAS O DIRECCION GENERAL DE MINAS

Si bien en cualquier lugar los técnicos más directamente relacionados con las aguas serían los ingenieros de puertos y caminos y canales, en Canarias evidentemente el problema cae dentro del campo de los ingenieros de minas, ya que aquí el transporte no se ha de efectuar a través de distancias demasiado largas. Esto parece que ha creado una serie de disputas entre el ministerio de Obras Públicas y la Dirección General de Minas. Sin embargo esta es la opinión del señor Sierra López.

"Como director general de minas solamente puedo decir que la administración debe ser, y tenemos que hacer que sea, una, responsable y solidaria. Con esto quiero decir que los problemas de cuerpos deben pasar indudablemente a segundo lugar. Lo importante es que cada uno de ellos aporte sus conocimientos para que la misión que tiene encomendada el Gobierno por la sociedad sea siempre lo más eficaz posible. El tema de corporativos me parece que debe pasar a un segundo lugar."

—¿Se nos agotan las aguas subterráneas?

"Todos los que entienden de agua saben que hay una cosa que son los recursos renovables sobre cuya cantidad extraída se tiene la seguridad de que se repondrá por sí sola. Luego está la minería del agua por calificarla de alguna forma, ya que con este elemento ocurre como con los otros minerales, que se agotan. Por eso insistimos en que hay que planificar muy bien la gestión y la utilización del agua. Hay que conocer a fondo cuánto se tiene de recursos renovables, cuánto de reversas, cómo se pueden pasar de unas a otras, y en qué años y condiciones.

Todo esto naturalmente no puede ser una cosa caótica, sino perfectamente planificado para que se tenga un óptimo aprovechamiento de las aguas en condiciones de escasez. Un ejemplo de esto puede ser Israel, en donde la distribución que se ha hecho es completa, incluso a través de ordenadores, para conocer en todo momento la cantidad que se puede sacar."

—No hace mucho tiempo se elaboró un proyecto geológico el "SPA-15", en el que se trataba de determinar cuál era nuestra situación. ¿Se están aprovechando todos nuestros recursos o muchos se pierden por no existir iniciativa?

"El SPA-15" ha sido un estudio general y preliminar de otros con más detalles que se van a realizar ahora. No es tanto el problema de que existan recursos sin aprovechar, sino más bien diría que los existentes no se aprovechan con todo el rendimiento de que son capaces. Indudablemente debido a las especiales condiciones geológicas de estas islas no cabe duda de que habrá muchos depósitos que no conocemos."

Como nota anecdótica añadiremos que el Director General de Minas es hermano del jefe provincial de Sanidad de Santa Cruz de Tenerife, Antonio Sierra López. Además pese a llevar sólo dos años en su cargo, es el tercero más antiguo entre los directores generales.



HIDROCARBUROS

INTENSA ACTIVIDAD DE CAMPSA DURANTE EL AÑO PASADO

Durante el año 1977, CAMPSA recibió un total de once permisos de investigación minera —el 41 por 100 del total concedido en dicho año—, de los cuales cuatro han sido en operaciones íntegramente financiadas por el monopolio, según informa el boletín “Petróleo”.

Asimismo, durante el pasado año, la entidad llevó a cabo una intensa labor de sísmica en sus permisos terrestres, con un total de 1.174 kilómetros de perfiles, actuando como operadora, así como otros 2.862 kilómetros de sísmica marina en régimen de asociación.

Por lo que se refiere a sondeos, durante 1977 se realizaron siete, con participación de CAMPSA y un total de 16.197, lo que representa el 32,6 por 100 del total de metros perforados.

AUMENTAN LAS PROSPECCIONES PEROLIFERAS DE CAMPSA

Durante el año pasado CAMPSA continuó aumentando su dominio minero, habiéndosele otorgado un total de once permisos de investigación, lo que supone el 41 por 100 de los concedidos en 1977

La empresa titular del monopolio de petróleos también realizó el año pasado una intensa labor de sísmica terrestre y marina.

EXPOSICION DE LA INDUSTRIA PETROLIFERA MARINA

Del 5 al 10 de marzo del año en curso tendrá lugar en Brighton, Inglaterra, la cuarta edición de una de las exposiciones más conocidas del mundo para las industrias de hidrocarburos mar adentro (“offshore”), la Oceanology International Offshore Exhibition and Conference 78.

A este próximo certamen se espera que asistan más de 30.000 visitantes técnicos y comerciales procedentes de más de 144 países, a la que está considerada como la probablemente más importante exposición del mundo de sistemas y servicios para operaciones submarinas. Los productos a exhibir, que pertenecen a más de 350 firmas y organizaciones de 20 países, incluyen avanzada tecnología para la exploración, desarrollo y producción de petróleo y gas mar adentro y minerales del lecho marino.

La exposición, que tendrá lugar en el Metropole Exhibition Halls de Brighton, y en el cercano National Conference Centre, constituirá un exponente de los más re-

cientes desarrollos en plataformas y torres de perforación, su construcción y mantenimiento; montaje de oleoductos, inspección y mantenimiento; equipos y servicios de submarinistas para grandes profundidades; comunicaciones y ayudas para la navegación; suministros mar adentro, y embarcaciones de apoyo y salvamento.

También se organizarán visitas mediante buques operacionales pertenecientes a la industria mar adentro a los cercanos puertos de Shoreham y Newhaven. Asimismo, se espera visitar la nueva y amplia dársena abrigada para embarcaciones menores de Brighton para realizar demostraciones con embarcaciones ligeras y pequeños buques de vigilancia.

Además de estas visitas se celebrará al mismo tiempo una conferencia mundial de cinco días de duración, que estará patrocinada por 13 importantes instituciones británicas, y que se espera que atraiga a unos 2.000 delegados procedentes de los sectores industriales del petróleo, gas, minerales e industria marítima de todo el mundo. Ponencias sobre los nuevos y mejorados desarrollos de la ingeniería “offshore” serán presentados por 47 conferenciantes de diez países.

Como en ediciones anteriores, la completa y compleja organización de la Oceanology International esta subvencionada por el Gobierno británico. Para los que lo deseen, tienen a disposición un consejo asesor en el que están representados doce países.

MINERALURGIA

ESPAÑA DESCIENDE DOS PUESTOS ENTRE LOS PRODUCTORES MUNDIALES DE ACERO

Como consecuencia de la crisis económica que atraviesa el país por tercer año consecutivo y que se manifiesta en un descenso continuado del consumo, de acero, que en 1977 se sitúa en torno al 14 por 100 por debajo de la cifra de 1974, también la producción de acero sufre un retroceso en 1977, con descenso en torno al 5 por 100 en relación con lo producido en 1974.

En 1977, con una producción estimada de 11 millones de toneladas de acero, España desciende dos puestos en la escala mundial de países productores de acero, pasando del decimotercero al decimoquinto lugar, siendo superada por Rumania y Brasil. Como consecuencia de la crisis por la que atraviesa el país, se han dejado de producir cerca de tres millones de toneladas de acero, a pesar de los esfuerzos y de los resultados obtenidos en la vertiente exterior. Ello ha tenido como consecuencia un grado de funcionamiento de las instalaciones y de la productividad de los efectivos gravemente bajos.

COTIZACION DE METALES

Mercancía	Bolsa	Unidad	Moneda	1977-1978		Ultima 5-1-78
				Máximo	Mínimo	
Oro ... ..	Zurich	Onza	Dólar	168,00	130,26	166,25
Plata ... ..	Nueva York	Onza	Dólar	4,96	4,30	4,82
Platino ... ..	Nueva York	Onza	Dólar	173,00	144,75	188,50
Paladio ... ..	Nueva York	Onza	Dólar	59,00	41,00	53,00
Cobre ... ..	Londres	Tm.	L. esterlina	903,50	655,00	678,00
Estaño ... ..	Londres	Tm.	L. esterlina	7.090,00	6.210,00	6.425,00
Plomo ... ..	Londres	Tm.	L. esterlina	438,00	293,00	304,50
Cinc ... ..	Londres	Tm.	L. esterlina	438,50	284,00	288,00
Níquel ... ..	Londres	Libra	Dólar.	2,15-2,25	1,71-2,01	1,99-2,01
Mercurio ... ..	Londres	Frasco	Dólar.	175-205	95-105	129-130
Tungsteno ... ..	Londres	10 kilos	Dólar.	188-192	127-129	169-176
Antimonio ... ..	Londres	T.	Dólar.	3.075-3.150	1.950-2.050	2.160-2.200
Bismuto ... ..	Londres	Libra	Dólar.	5,90-6,25	2,50-2,60	2,50-2,60
Aluminio ... ..	Londres	T.	Dólar.	1.040-1.060	885-900	960-1.000

Datos facilitados por la Unión de Bancos Suizos.

MENOS ACERO

La producción mundial de acero descendió un 0,5 por 100 en 1977, quedando en 673,1 millones de toneladas, frente a las 676,5 millones de toneladas de 1976, según indican los datos provisionales hechos públicos por el Instituto Internacional del Hierro y el Acero (I.I.S.I.).

En el mundo occidental, la producción de acero decreció en un 2,8 por 100 hasta las 441,2 millones de toneladas, desde las 453,8 millones en 1976.

La producción de acero en los países del COMECON se estima se haya incrementado un 3,3 por 100, hasta las 205,3 millones de toneladas en 1977, desde las 198,7 millones de 1976.

Con respecto a las estimaciones hechas sobre la producción siderúrgica de China y de Corea del Norte, el I.I.S.I. señala que la misma aumentó en un 10,6 por 100 hasta las 26,6 millones de toneladas, desde los 24 millones de toneladas de 1976.

La producción de acero durante el pasado año fue de 11.136.000 toneladas, con un aumento del 1,4 por 100 sobre la producción de un año antes, pero con una baja del 5 por 100 en relación con 1974.

Las exportaciones españolas de productos siderúrgicos en 1977 han alcanzado un nivel “record”, superándose los tres millones de toneladas con una cifra de facturación del orden de 75.000 millones de pesetas (58.000 millones en 1976).

El consumo de acero fue el pasado año un 14 por 100 inferior al de 1974.

En 1977, con esa producción estimada de once millo-

nes de toneladas de acero, España desciende dos puestos en la escala mundial de países productores de acero, pasando del decimotercero al decimoquinto lugar, siendo superada por Rumania y Brasil. Como consecuencia de la crisis por la que atraviesa el país, se han dejado de producir cerca de tres millones de toneladas de acero, a pesar de los esfuerzos y de los resultados obtenidos en la vertiente exterior.

REUNIONES CIENTIFICAS

COLABORACION ENTRE EL IGME Y EL INSTITUTO FEDERAL DE CIENCIA DE LA TIERRA Y RECURSOS NATURALES

Durante la reciente visita del Director del Intituto Geológico y Minero de España y del Jefe de la División de Investigación Minera al Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, de Hannover, se concentraron distintos aspectos de la colaboración entre ambos Organismos para llevar a cabo la investigación integral de los lignitos neoterciarios de la región gallega. Se espera que los trabajos se inicien el próximo mes de abril, habiéndose previsto un amplio intercambio de información y trasvase de tecnología.

Igualmente, durante dicha visita, se analizaron los resultados obtenidos en la reciente campaña de geofísica realizada por el Bundesanstalt für Geowissenschaften und



Rohstoffe, en la provincia de Huelva, para la investigación de masas de sulfuros polimetálicos. Como se recordará dicha campaña se realizó, también, en colaboración con la Cía. Azufre y Cobre de Tharsis, y Tharsis Consult, S. A. (THACSA), y cubrió un área de 846 km<sup>2</sup> con 4.400 kilómetros de perfil y 715 kilómetros más de comprobación.

#### TESIS DOCTORAL

En la E. T. S. I. M. de Madrid se ha leído la tesis presentada por don Miguel Angel Remón Gil sobre Posibilidades Petrolíferas de la Depresión Terciaria del Ebro.

En la misma se establece el interés petrolífero remanente de la depresión terciaria del Ebro, que ha sido prácticamente abandonada por las Compañías desde el año 1966, a pesar de que en la misma se han realizado 7,8 sondeos por cada 10.000 km<sup>2</sup> de superficie útil.

Ello se ha realizado examinando la naturaleza y potencia de la serie mesozoica existente bajo el Terciario continental, estudios sísmicos realizados hasta el momento, calidad y penetración de la sísmica, densidad de los sondeos realizados y examen de su ubicación, importancia y frecuencia de los indicios, generadores contrastados, posibles nuevos generadores, grado de madurez de la materia orgánica, cronología comparada de la emigración y la estructuración, riqueza estructural, porosidad y permeabilidad de los carbonatos y las areniscas, control sísmico de los almacenes, protección de los almacenes, fiabilidad de los sellos, parámetros sísmicos más adecuados, etc.

Se llega a la conclusión final de que existe un considerable interés petrolífero remanente que justificaría un importante incremento de la actividad investigadora.

#### ECONOMIA

##### LIGERO AUMENTO DE LA PRODUCCION CHILENA DE COBRE

La producción chilena de cobre en 1977 fue de unas 1.050.000 toneladas, superior a 1.005.200 toneladas de 1976, según fuentes de esta industria.

La producción en las minas estatales de Chuquicamata, El Salvador, El Teniente y Andina fue de 885.400 toneladas —846.800 en 1976— y la de las minas menos importantes fue de 163.900 toneladas, superior a las 158.400 del año anterior.

Las fuentes señalaron que sus estimaciones se basan en las cifras oficiales publicadas recientemente respecto a los diez primeros meses del año, que situaba la producción total en 874.400 toneladas, comparadas con las 824.000 del mismo período de 1976.

Por su parte, el Banco central de Chile anunció que la deuda exterior total a finales de 1977 era de 5.200 millones de dólares, prácticamente igual que la del año anterior.

Las deudas exteriores de los sectores público y privado garantizadas por el Gobierno eran de 3.550 millones de dólares el pasado 31 de diciembre y de 3.650 millones de dólares en la misma fecha de 1976.

El ministro de Planificación, Roberto Pelly, señaló que Chile amortizará sus deudas exteriores que cumplen este año y que ascienden a unos mil millones de dólares. En 1977 Chile canceló deudas exteriores por 1.050 millones de dólares. Los principales acreedores del país son Estados Unidos, Francia, Alemania Federal, Inglaterra, Argentina, Japón y Brasil.

##### PRESTAMO PARA LA CENTRAL ELECTRICA DE ANDORRA (TERUEL)

El Banco de Londres y América del Sur ha gestionado a través de su casa matriz, Lloyds Bank International, Londres, un préstamo de 45 millones de dólares a la Empresa Nacional de Electricidad, S. A., para financiar la terminación de su central térmica de Andorra (Teruel). Esta tendrá una potencia de 1.050 megavatios y será alimentada por la mina de lignito, también propiedad de la empresa. El préstamo es de siete años, y fue sindicado por el Lloyds entre un grupo internacional de Bancos gerentes y participantes en condiciones de mercado óptimas para el prestatario en estos momentos.

##### PARTICIPACIONES ESPAÑOLAS EN PROYECTOS MINEROS EN EL EXTRANJERO

El Instituto Nacional de Industria participa en estos momentos en los siguientes proyectos mineros en otros países:

Canadá: Proyectos Soquem para uranio y otros minerales. Brasil: Proyecto de bauxita en Trombetas y en una planta de "pellets" con una capacidad anual de 1,8 millones de toneladas. Colombia: Hay un contrato de Enusa para investigar uranio. La misma empresa tiene también contratos en Níger (yacimiento de Akouta) y en Sudáfrica (yacimiento de Witwatersrand). Además hay una participación para estudiar el yacimiento de Mount Nimba para mineral de hierro en Guinea. Junto con el tema de Bu-Craa en el Sahara, se encuentra en estudio una participación en Minero-Perú sobre fosfatos.

Por su parte, el capital privado participa en Méjico con un proyecto de fluorita y otro de cinc, a través de las empresas Minersa y Real Compañía Asturiana de Minas. También están previstas en Méjico otras inversiones, así como en Marruecos, Costa Rica, Guatemala, etc.

##### ASTURIANA DE MINAS, CON "NUMEROS ROJOS"

La Real Compañía Asturiana de Minas belga ha conocido importantes pérdidas en 1977, como consecuencia de la baja de los precios del cinc, que han caído a 600 dólares desde 800 dólares la tonelada. La empresa no pagó dividiendo en 1976, año en que perdió 88,6 millones de francos, ni lo pagará para 1977, con unas pérdidas de 166 millones de francos.

"Asturienne" vio aumentar el pasado año sus "stocks" de cinc, pese a que sus funciones trabajaron a menor ritmo. La producción de concentrados de cinc fue de 100.000 toneladas, mientras que la de plomo aumentaba un 30 por 100 hasta situarse en 90.000 toneladas.

#### CONTAMINACION

##### EL IGME EN DOÑANA

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) lleva a cabo un control periódico mensual de los niveles piezométricos en el manto acuífero subterráneo de Almonte-Marismas, que, como es bien sabido, es el que se extiende bajo el Parque Nacional de Doñana.

Asimismo, el IGME mantiene al día el inventario de las aguas subterráneas bombeadas dentro del Parque y en el entorno del mismo, con objeto de evaluar las relaciones entre el bombeo y las oscilaciones del nivel.

Por otra parte, se están tomando muestras del agua subterránea para el estudio de la evolución de su calidad.

El IGME cuenta con un modelo matemático del acuífero que permite predecir la futura evolución de la superficie piezométrica según los esquemas de bombeo que para este acuífero se planteen.

##### CINCO MIL MILLONES DE DOLARES, LIMPIAR EL MEDITERRANEO

A más de cinco mil millones de dólares se eleva el gasto que sería necesario para la operación de limpieza del mar Mediterráneo en un plazo de diez años, sin contar con la infraestructura necesaria para evitar su nueva contaminación, según un cálculo efectuado por la Conferencia sobre la Contaminación del Mediterráneo que, con participación de 13 países ribereños, entre los cuales figura España, se ha celebrado en Venecia. Al parecer, la gran dificultad de tales deseos radica en que hasta la fecha no se ha logrado establecer el programa necesario contra la contaminación en favor de la defensa ecológica del Mare Nostrum.

##### ACUERDOS SOBRE CONTAMINACION DEL MEDITERRANEO

Ya han entrado en vigor tres de los acuerdos suscritos en Barcelona hace dos años, relacionados con la contaminación del Mediterráneo, informa un portavoz del programa sobre medio ambiente, patrocinado por las Naciones Unidas. En los citados acuerdos, las naciones ribereñas del Mediterráneo se comprometieron a proteger su mar contra la contaminación en interés de las generaciones presentes y futuras. También se prohíbe rigurosamente el vertido de sustancias nocivas procedentes de tierra, así como ejercer un estricto control de vertidos de sustancias menos tóxicas. Por último, se acordó una absoluta colaboración entre los Estados mediterráneos, para evitar masivos derrames de petróleo en las aguas del mar.

#### INVESTIGACION ESPACIAL

##### EXPERIMENTOS EN EL ESPACIO

Los cosmonautas Yuri Romanenko y Guerorgui Grechko, a bordo de la estación "Salyut-6", comenzaron un interesante programa de experimentos tecnológicos para tratar de fundir materiales y lograr nuevas aleaciones, que son imposibles de obtener en la Tierra, aprovechando las condiciones de ingravidez del espacio. Para realizar los experimentos y con el fin de disminuir la influencia de las perturbaciones dinámicas, el complejo o tren espacial, "Salyut-6"- "Soyuz-27", fue puesto en "régimen a la deriva" con todos los motores del sistema de orientación desconectados. Los cosmonautas, para emprender las investigaciones que llevan el nombre de "aleación", colocaron una cápsula con los materiales que se investigan, y que no han sido revelados, en la cámara de calentamiento eléctrico instalada en un módulo especial de esclusas.

El proceso de cristalización de las sustancias fundidas, según el centro de dirección del vuelo, "transcurrió conforme al programa regulado de enfriamiento y todas las operaciones para asegurar los regímenes de temperatura óptimos se llevaron a cabo con la ayuda del dispositivo programado".

##### TEMPERATURA SOLAR

El clima de la Tierra puede experimentar un cambio en un futuro no muy lejano a causa de un descenso de 11 grados de temperatura registrado en la superficie del Sol. Según mediciones efectuadas por meteorólogos del observatorio de Tucson, Arizona, el descenso de temperatura solar comenzó en enero de 1977 y continúa sin detenerse. Los científicos observaron también que el

descenso correspondió al inicio de un período de gran actividad en las manchas solares que existen sobre la superficie de la estrella que da nombre a nuestro sistema. La unión de estos dos fenómenos puede originar un cambio de clima en la Tierra.

SATELITE DE LUZ ULTRAVIOLETA

Tanto en Europa como en Estados Unidos, ha dado ya comienzo la interpretación de los resultados conseguidos por el satélite "IUE" (Internacional Ultraviolet Explorer).

Las primeras observaciones realizadas por un equipo europeo tuvieron lugar el 9 de febrero, desde la estación de Villafranca (Madrid), perteneciente a la Agencia Espacial Europea (ESA). Los experimentos permitieron localizar y observar, por primera vez en la totalidad del espectro ultravioleta, una estrella de nuestra galaxia, denominada "Capella", que pertenece a la constelación Auriga, distante unos cuarenta y cinco años luz de la Tierra. Según las observaciones, esta estrella, que posee un brillo particularmente poderoso, está rodeada de forma patente al igual que el Sol, por un elemento denominado cromosfera, en el cual se producen importantes intercambios químico-gaseosos.

El satélite "IUE" es fruto de la colaboración de la NASA, la ESA y el Consejo de Investigación Científica de Gran Bretaña (SRC). En compensación por su contribución a la construcción del satélite espacial y la utilización de los equipos terrestres, Europa goza de ocho horas diarias de utilización del satélite, el mismo tiempo que es compartido igualmente por ESA y SRC.

NUEVO "COSMOS" SOVIETICO

La Unión Soviética lanzó un nuevo satélite "Cosmos", con el número 989, dentro de su programa de investigaciones espaciales. El satélite pertenece a la misma serie que el "Cosmos" desintegrado hace unas semanas sobre el cielo de Canadá y del que se desprendieron diversos elementos en los que se detectaron índices de radiactividad. En cuanto al lanzado, el "Cosmos-989", un comunicado señala que lleva a bordo "instrumentos científicos destinados a continuar las exploraciones espaciales".

NOVEDADES CIENTIFICAS Y TECNICAS

BRIQUETAS DE COQUE A PARTIR DE CARBONES POBRES

La firma McKee Ingenieros, S. A., domiciliada en Madrid, ha llegado a un acuerdo con la entidad norteamericana FMC para licenciar el proceso puesto a punto

por ésta y que consiste en transformar los carbones de baja calidad en briquetas de coque siderúrgico.

Este proceso abre grandes posibilidades a los productores de carbones de las citadas características, y además podría permitir, en el caso de la industria española, reducir la dependencia exterior que padece nuestro país en la producción de coque. Respecto a la citada dependencia, conviene señalar que en el período enero-octubre de 1977, y a pesar de la baja coyuntura industrial, España tuvo que importar 2,88 millones de toneladas de hullas siderúrgicas, por importe de 12.371 millones de pesetas.

PUBLICACIONES

ULTIMAS PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

MAPA GEOLOGICO NACIONAL E. 1:50.000 (MAGNA)

- 9, Foz.
- 24, Mondoñedo.
- 27, Tineo.
- 51, Belmonte de Miranda.
- 59, Villacarriedo.
- 84, Espinosa de los Monteros.
- 90, Sumbilla.
- 95, El Pino.
- 205, Lodoso.
- 492, Segura de los Baños.
- 493, Oliete.
- 639, Jérica.
- 667, Villar del Arzobispo.
- 740, Villarrobledo.
- 853, Burguillos del Cerro.
- 987, El Rubio.
- 1004, Marchena.
- 1019, Los Palacios y Villafranca.
- 1034, Lebrija.

MAPA DE ORIENTACION AL VERTIDO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS. E. 1:50.000

- 696, Burjasot.
- 641, Castellón de la Plana.
- 722, Valencia.

COLECCION TEMAS GEOLOGICO-MINEROS

Primer curso "Roso de Luna". (Introducción y áreas I a 7).

COLECCION-INFORMES

Investigación hidrogeológica de la cuenca media y baja del río Júcar.

Información legislativa

PERMISOS DE INVESTIGACION Y CONCESIONES DE EXPLOTACION

"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
263	24126	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de la concesión de explotación minera que se cita, Delegación Provincial de Madrid.
263	24126	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de las concesiones de explotación minera que se citan, Delegación Provincial de Vizcaya.
263	24125	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Badajoz.
263	24125	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de la concesión de explotación minera que se cita, Delegación Provincial de Badajoz.
263	24125	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCIONES por las que se hace público el otorgamiento de los permisos de investigación minera que se citan, Delegación Provincial de Barcelona.
263	24125	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Cáceres.
263	24125	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCIONES por las que se hace pública la caducidad de los permisos de investigación minera que se citan, Delegación Provincial de Guadalajara.
263	24126	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Lérida.
263	24126	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Lugo.
263	24126	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Madrid.
263	24126	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de los permisos de investigación minera que se citan, Delegación Provincial de Pontevedra.
263	24127	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de la concesión de explotación minera que se cita, Delegación Provincial de Oviedo.



"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
263	24127	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la reducción de pertenencias del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Cuenca.
274	25028	16-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de la concesión de explotación minera que se cita, Delegación Provincial de Madrid.
274	25028	16-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se notifica la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Madrid.
287	26483	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de las concesiones de explotación minera que se citan, Delegación Provincial de Córdoba.
287	26488	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de las concesiones de explotación minera que se citan, Delegación Provincial de Vizcaya.
287	26479	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento del permiso de investigación minera que se cita.
287	26483	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de los permisos de investigación minera que se citan, Delegación Provincial de Cuenca.
287	26484	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Huelva.
287	26487	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de León.
287	26487	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Lugo.
287	26487	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de los permisos de investigación minera que se citan, Delegación Provincial de Murcia.
287	26488	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Pontevedra.
287	26488	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, Delegación Provincial de Teruel.
295	27081	10-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de la concesión de explotación minera que se cita, Delegación Provincial de Salamanca.
296	27135	12-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de la concesión de explotación minera que se cita, Delegación Provincial de Málaga.

"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
296	27135	12-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de las concesiones de explotación minera que se citan, Delegación Provincial de Zaragoza.
296	27135	12-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento del permiso de investigación que se cita.
297	27230	13-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de las concesiones de explotación minera que se citan, Delegación Provincial de Teruel.
297	27231	13-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de las concesiones de explotación minera que se citan, Delegación Provincial de Zaragoza.
298	27321	14-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento del permiso de investigación minera que se cita.
298	27323	14-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la cancelación minera que se cita, Delegación Provincial de Huelva.
298	27323	14-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se declara de utilidad pública la instalación eléctrica que se cita, Delegación Provincial de Vizcaya (L. 510).
302	27703	19-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de las concesiones de explotación minera que se citan.
3	191	4-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento de los permisos de investigación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Zamora.
15	1248	18-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de la concesión de explotación minera que se cita.
15	1248	18-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento de los permisos de investigación minera que se citan.
17	1447	20-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de las concesiones de explotación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Sevilla.
17	1448	20-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de la concesión de explotación minera que se cita, de la Delegación Provincial de Zamora.
17	1446	20-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento del permiso de investigación minera que se cita, de la Delegación Provincial de Barcelona.
17	1446	20-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento del permiso de investigación minera que se cita, de la Delegación Provincial de Ciudad Real.
17	1446	20-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de los permisos de investigación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Córdoba.

"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
17	1446	20-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, de la Delegación Provincial de Palencia.
17	1447	20-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de los permisos de investigación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Salamanca.
18	1547	21-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de las concesiones de explotación minera, de la Delegación Provincial de Barcelona.
22	1990	26-I-78	Ind.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de explotación minera que se cita, de la Delegación Provincial de León.
24	2176	28-I-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se notifica la caducidad del permiso de investigación minera que se cita, de la Delegación Provincial de Madrid.
25	2244	30-I-78	I. y E.	RESOLUCIONES por las que se hace pública la caducidad de los permisos de investigación minera que se citan.
27	2439	1-II-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de las concesiones de explotación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Almería.
27	2439	1-II-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de las concesiones de explotación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Badajoz.
27	2440	1-II-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de las concesiones de explotación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Barcelona.
27	2440	1-II-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de la concesión de explotación minera que se cita, de la Delegación Provincial de Córdoba.
27	2440	1-II-78	I. y E.	RESOLUCIONES por las que se hace público el otorgamiento y titulación de las concesiones de explotación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Cuenca.
27	2440	1-II-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace pública la caducidad de la concesión de explotación minera que se cita, de la Delegación Provincial de Guadalajara.
27	2441	1-II-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de las concesiones de explotación minera que se citan, de la Delegación Provincial de Oviedo.
27	2442	1-II-78	I. y E.	RESOLUCION por la que se hace público el otorgamiento y titulación de la concesión de explotación minera que se cita, de la Delegación Provincial de Segovia.

"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
RESERVAS				
263	24124	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se publica la inscripción de propuesta de reserva provisional a favor del Estado, para investigación de recursos minerales de fósforo, en un área de las provincias de Oviedo, León, Palencia y Santander.
263	24124	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se publica la inscripción de propuesta de reserva provisional a favor del Estado, para la exploración e investigación de yacimientos de minerales de sodio y potasio, en un área de las provincias de Toledo, Madrid y Guadalajara.
263	24124	3-XI-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se cancela la inscripción número 44, "Maceda", comprendida en la provincia de Orense.
264	24213	4-XI-77	I. y E.	ORDEN por la que se prorroga la reserva provisional a favor del Estado para investigación de toda clase de sustancias minerales, exceptuados los radiactivos, carbón e hidrocarburos, en el área denominada "Zona Bailén-Linares" comprendida en las provincias de Ciudad Real, Jaén y Córdoba, con reducción de superficie.
281	25814	24-XI-77	I. y E.	ORDEN por la que se levanta la reserva provisional a favor del Estado, para investigación de toda clase de sustancias minerales, excluidos los hidrocarburos fluidos y las rocas bituminosas, en la zona denominada "Zamora dos" (Zamora).
281	25815	24-XI-77	I. y E.	ORDEN por la que se levanta la reserva provisional a favor del Estado, para investigación de minerales radiactivos "Avila-600-1", comprendida en la provincia de Avila.
287	26472	1-XII-77	I. y E.	ORDEN por la que se levanta la reserva provisional a favor del Estado para investigación de toda clase de sustancias minerales, excluidos los hidrocarburos fluidos y las rocas bituminosas, en las zonas denominadas "Concesión 554-1", "Concesión 555-1" y "Concesión 555-2", comprendidas en la provincia de Avila, y "Concesión 602-1" y "Concesión 605-1", de la provincia de Toledo.
287	26480	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se publica la inscripción de propuesta de reserva provisional a favor del Estado para exploración e investigación de yacimientos de carbón en un área de la provincia de Lugo.
287	26479	1-XII-77	I. y E.	RESOLUCION por la que se publica la inscripción de propuesta de reserva provisional a favor del Estado para exploración e investigación de recursos geotérmicos en un área de las provincias de Gerona y Barcelona.
295	27068	10-XII-77	I. y E.	ORDEN por la que se dispone el levantamiento de la reserva provisional a favor del Estado para investigación de toda clase de sustancias minerales, excluidos los hidrocarburos fluidos y las rocas bituminosas, en la Zona "Avila 605-1", de la provincia de Avila.
295	27069	10-XII-77	I. y E.	ORDEN por la que se prorroga la reserva provisional a favor del Estado para investigación de minerales radiactivos en la zona denominada "Cáceres cincuenta y dos", comprendida en la provincia de Cáceres.



"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
241	22334	8-X-77	P.º G.º	<i>Canarias. Obras y servicios de suministro de agua.</i> —Real Decreto por el que se autoriza excepcionalmente a las Corporaciones Locales de Canarias para que, con cargo a los incrementos de derechos liquidados en el presente ejercicio, doten nuevos créditos dentro de los presupuestos ordinarios para financiar ejecuciones de obras o servicios de suministro de agua.
245	22551	13-X-77	O.P. y U.	<i>Autorizaciones.</i> —Resolución por la que se hace pública la autorización otorgada a don Juan Cano Benjumea para extraer áridos en exclusiva, por un plazo de cinco años, del cauce del río Guadamar, en término municipal de Sanlúcar la Mayor (Sevilla).
260	23950	31-X-77	I. y E.	<i>Transporte de materias peligrosas. Señalización para vehículos.</i> —Orden sobre homologación de paneles de señalización para vehículos que transportan materias peligrosas.
263	24123	3-XI-77	I. y E.	<i>Aprovechamientos de aguas.</i> —Orden por la que se crea un perímetro de protección de las aguas subterráneas en el término municipal de Jijona (Alicante).
263	24124	3-XI-77	I. y E.	ORDEN por la que se crea un perímetro de protección de aguas subterráneas para abastecimiento a la ciudad de Castella (Alicante).
268	24539	9-XI-77	I. y E.	<i>Fomento de la minería. Subvenciones.</i> —Resolución por la que se convoca concurso para el otorgamiento de las subvenciones de capital previstas en la Ley de Fomento de la Minería.
269	24572	10-XI-77	S. y S.S.	<i>Agua potable de manantial.</i> —Resolución por la que se autoriza como agua potable de manantial el agua "Son Massip", del manantial Font Sorda, del término municipal de Escorca (Baleares).
278	25463	21-XI-77	I. y E.	<i>Minerales. Permisos de exploración.</i> —Corrección de errores de Resoluciones de la Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción, por las que se hacen públicos los otorgamientos de los permisos de exploración que se citan.
289	26653	3-XII-77	OP y U.	RESOLUCION por la que se hace pública la concesión otorgada a don Francisco Prieto Moreno y Pardo de un aprovechamiento de aguas públicas subálveas del río Verde, en el término municipal de Almuñécar (Granada), con destino a abastecimiento potable de varias urbanizaciones.
292	26910	7-XII-77	OP y U.	RESOLUCION por la que se hace pública la concesión otorgada a don Juan Serra Borrell de un aprovechamiento de aguas públicas subálveas de la riera de Can Matas, en término municipal de San Cipriano de Vallata (Barcelona), con destino a riegos.
296	27135	12-XII-77	I. y E.	<i>Minerales. Permisos de exploración.</i> —Resolución por la que se hace público el otorgamiento del permiso de exploración que se cita.

Notas bibliográficas

GEOLOGIA

J. AGUEDA VILLAR, F. ANGUITA VIRELLA, V. ARAÑA SAAVEDRA, J. LÓPEZ RUIZ y L. SÁNCHEZ DE LA TORRE: *Geología*. Editorial Rueda. Madrid.

Los autores han elaborado una geología básica, muy moderna, en la que aún tomando como idea directora los nuevos postulados establecidos, se mantiene una postura crítica sobre ellos.

La mayor parte de los capítulos se han tratado desde el método inductivo siendo notable tanto la gran cantidad como la representatividad de los datos aportados. Es amplio el abanico de las teorías expuestas haciéndose especial hincapié en aquellas más suficientemente probadas.

Destacamos la doble oportunidad con que aparece este libro, dándose la coincidencia, por un lado, la evolución tan enorme que en unos momentos como el presente ha impuesto la teoría de la tectónica de placas al proporcionar un esquema dinámico global para la Tierra dando sentido a la mayor parte de los fenómenos geológicos, al mismo tiempo que ha hecho necesario el replanteamiento de conceptos considerados como inamovibles, y por otro, contribuyendo a llenar el gran vacío que actualmente existe, en lengua castellana, de obras modernas como ésta.

Señalaremos que no obstante el ser varios los autores, todos ellos jóvenes profesores e investigadores científicos, especialistas en las distintas materias que tratan, no se trasluce en falta de continuidad o desigualdad en el tratamiento dado, sino que, por el contrario, se observa gran homogeneidad en toda la obra, lo que facilita su lectura.

Rigurosidad, gran altura y actualidad con que son tratados todos los temas, hacen de esta Geología General, un libro, no sólo recomendado a los alumnos de cursos universitarios sino también a los profesionales, en donde se les brinda una completa síntesis de los nuevos conocimientos.

Tiene el libro unas bases física, química y biológica importantes y bien actualizadas.

La obra se divide en trece capítulos. El primero describe la evolución de los conocimientos geológicos. El segundo trata de la materia y energía del universo. El tercero de la energía, parámetros y propiedades físicas de la tierra. El cuarto de la estructura y composición de la Tierra. El quinto estudia las capas fluidas de la Tierra, las interacciones con la superficie sólida. El sexto lo dedica al estudio de la superficie terrestre. En el séptimo se

estudian los sedimentos y ambientes sedimentarios. El octavo se dedica a la teoría de la tectónica de placas. En el noveno y décimo se analizan, respectivamente, los procesos tectónicos y petrogenéticos. El once describe la vida en el planeta. El duodécimo estudia los registros históricos de la tierra y, finalmente, el decimotercero trata de los recursos naturales. La obra termina con una bibliografía extensa y moderna.

El amplio, agradable y moderno formato que se le ha dado al libro aligera el copioso texto que contiene. De ello también se beneficia la parte gráfica, muy profusa, con muchos cuadros, diagramas y figuras, junto con una amplia colección de fotografías de gran belleza y calidad.—Aparicio.

SALVADOR MENSUA y M.ª JESÚS IBÁÑEZ: *Sector Central de la Depresión del Ebro. Mapa de terrazas fluviales y glaciales y comentarios de los mapas*. Departamento de Geografía. Universidad de Zaragoza, 16 págs. y cinco mapas (1977).

Se trata de cinco hojas a escala 1/100.000 que cubren una superficie de 20 hojas del mapa nacional a 1/50.000, de las terrazas fluviales y glaciales del Ebro. Por la información aportada, hubiese sido más cómodo de manejo y con un costo considerablemente menor, su edición a escala 1/200.000, con lo cual hubiese estado todo el trabajo comprendido en una hoja.

La parte gráfica comprende esquemas de terrazas, glaciales y perfiles transversales.

Los comentarios justifican el criterio de elección de la escala 1/100.000, extensión del área estudiada; el encuadramiento estructural, la articulación espacial, la correlación y la cronología de glaciales y terrazas. Finaliza con la disección cuaternaria.—L. DE A.

MINERIA

J. Y. SCANVIC y G. WEECKSTEEN: *Recherche miniere et teledetection*. Annales des Mines, diciembre 1977, número 12, págs. 87 a 96.

La evaluación de las posibilidades de utilización de la teledetección en investigación minera debe tomar en cuenta las características de los captores, y asimismo la fiabilidad de los resultados y el coste de la ejecución.

Los documentos que permiten un desbroce geológico—fotografías aéreas, imágenes de satélite, radargrafías desempeñan un papel actualmente preponderante. En lo referente a las otras técnicas que dan informaciones más específicas, conviene profundizar la originalidad de su respuesta en relación con las técnicas tradicionales. Este es el caso, en particular, de la profundidad de investigación del infrarrojo térmico, capaz de revelar estructuras de subsuperficies, así como de la teledetección multiespectral, que puede revelar anomalías de funcionamiento de los vegetales, ligadas a anomalías geoquímicas.—L.

B. VILLENEUVE: *Le sondage en recherche minière*. Annales des Mines, diciembre 1977, núm. 12, págs. 113 a 126.

El sondeo con testificación no es el único medio de perforación utilizado en investigación minera. Existen otros medios, tales como los aparatos denominados “destructivos” (wagon-drill, martillo de fondo) que permiten la recuperación y el examen del ripio; estos procedimientos tienen un precio de coste menor y merecen que se piense en su utilización; la calidad de la información no es intrínsecamente excelente, pero la posible multiplicación de los sondeos con un mismo presupuesto es un argumento a su favor.

Hemos clasificado estos diferentes medios de perforación siguiendo el orden en que se emplean en las labores de investigación minera.

Aunque los progresos técnicos en el campo de los sondeos para investigación minera sean relativamente lentos, se puede esperar, con los años, una cierta evolución en la utilización de los diversos procedimientos: los análisis “in situ”, por ejemplo, revalorizarán probablemente los sondeos por percusión.—L.

F. MUNK: *Methodologie de la prospection geophysique minière*. Annales des Mines, diciembre 1977, núm. 12, págs. 87 a 96.

Los objetivos mineros se hacen cada vez más diversos y escondidos: resulta una “señal” geofísica cada vez más difícil de distinguir del “ruido” geológico circundante. Los programas de investigación y desarrollo concernientes a la tecnología de adquisición de datos y los métodos de tratamiento continúan asegurado una progresión de la eficacia de los métodos geofísicos mineros. Pero el factor principal del desarrollo de la geofísica minera, en el curso de los veinte últimos años, ha sido el reagrupamiento de los medios, los trabajos integrados y la reunión de los resultados de estudios y de la experiencia de geólogos mineros, geólogos, geoquímicos y geofísicos, lo que ha permitido definir una metodología de intervención geofísica en las diversas fases de la exploración minera.—L.

F. CACHAU: *La géochimie en exploration minière*. Annales des Mines, diciembre 1977, núm. 12, págs. 77 a 86.

La prospección geoquímica, después de veinte años de su introducción y ajuste, aparece actualmente como un eslabón incontestable de una exploración minera estructurada de las pequeñas a las grandes escalas.

“Prospección estratégica”, “prospección táctica” se utilizan ampliamente.

Los principales perfeccionamientos conciernen actualmente a la introducción del análisis multielemental, susceptible de amplias aportaciones en materia de cartografía geológica. La cobertura sistemática de vastas superficies deberá aportar una gran cantidad de informaciones nuevas, de técnicas de interpretación y de conocimientos insospechados actualmente.—L.

P. ROUTHIER: *Où sont les métaux pour l'avenir?* Annales des Mines, diciembre 1977, núm. 12, págs. 63 a 76.

Trata de dos clases de discontinuidades relativas a las concentraciones metálicas.

1. Umbrales probables, en la distribución de los contenidos para muchos, si no para la mayoría, de los tipos de yacimientos.

2. Heterogeneidades y anisotropías de la distribución geográfica de los yacimientos. El análisis de esta heterogeneidades y anisotropías en diversos ejemplos nos lleva hacia un esquema unitario de la metalogenia regional. En este esquema, diversos factores geológicos aparecen como metalotectos “reveladores”, expresando una parte del contenido del metal encerrado en un área metálica especializada, que es el metalotecto principal.

Las anisotropías evidenciadas no son necesariamente paralelas a las grandes estructuras conocidas actualmente en la corteza terrestre.

En tanto que el estudio de estas diferentes discontinuidades permanezca en la infancia, las clasificaciones sofisticadas de reservas y recursos serán ilusorias.—L.

J. SMETANKA: *Exploitation combinée a ciel ouvert et en souterrain d'un gisement*. Industrie Minérale. Mine 4-77, págs. 229 a 232.

La proporción de mineral extraído por desmonte va aumentando en el mundo. Los rendimientos de producción son muy superiores a los de las minas subterráneas, y los precios de venta inferiores, al mismo tiempo que son mejores las condiciones de trabajo y de seguridad. Ciertos yacimientos se pueden explorar comenzando por el desmonte y continuando por minería subterránea; pero se pueden también llevar los dos simultáneamente: es el método combinado del que se conocen ejemplos, princi-

palmente en Checoslovaquia. Presenta ciertas ventajas: aumento de la capacidad de producción con inversiones menores que las toleradas para una segunda etapa de extracción, empleo de tierras de recubrimiento de la cantera como relleno del fondo, reducción del volumen de tierras a desmontar...

En un proyecto de explotación combinada, es preciso calcular la relación límite de recubrimiento del desmonte y su profundidad límite que corresponde al nivel para el cual se equilibran los costos de explotación para los dos métodos.

Es preciso determinar cuál es el por ciento de la producción total que representa la producción a cielo abierto. Un ejemplo de este cálculo se indica a propósito de cobre y níquel de Checoslovaquia. Se ha hecho utilizando curvas dadas de producción para dos grupos de minas, en función del precio de venta.

El coeficiente de recubrimiento límite se ha evaluado procediendo por cortes sucesivos del yacimiento.

Estos trabajos han permitido eliminar zonas mineralizadas cuyo coeficiente de recubrimiento era muy elevado. En las zonas seleccionadas, se han medido las superficies de mineral y estéril incluso en la fosa de desmonte hasta la profundidad considerada, y se han calculado los tonelajes de mineral y de estériles. L.—

R. DENIAU: *Mécanisation des mines souterraines: réalisations des mines de fer lorraines*. Industrie Minérale. Mine 4-77, págs. 233 a 241.

En 1913, la mecanización era prácticamente inexistente en estas minas; el rendimiento global era de 4,5 toneladas turno. El verdadero arranque de la mecanización data de 1949 con el bulonado, sigue en 1955 con el empleo de vehículos sobre raíles y sobre neumáticos; el rendimiento alcanzó 8,2 toneladas turno. En 1960, se mecaniza la perforación con ayuda de jumbos diesel, con lo cual un hombre puede perforar en treinta minutos una voladura de 40 tiros de 3,20 m de longitud y 40 mm de diámetro; el rendimiento alcanzó 12,3 toneladas turno. Posteriormente, es la aparición de cargadores-transportadores de gran capacidad, máquinas de derribo continuo “Jeffrey”, máquinas de limpiar los techos, locomotoras de gran potencia capaces de remolcar a 30 km/h trenes de más de 200 toneladas. El rendimiento, gracias a estas innovaciones, alcanzó en 1976, 36 toneladas turno.

Los métodos de explotación, como los 2/3 de la producción, derivan de los principios de cámaras y pilares con y sin fulminantes, la mecanización se ha adaptado a las condiciones del yacimiento, a las características mecánicas de las rocas y a la profundidad de explotación. Incluso algunos de los vehículos originales han debido ser modificados especialmente.

Los ensayos actualmente en curso (destinados a aumentar la producción) se inspiran en los métodos practicados

en las minas de carbón: corte de frentes con minadores continuos y frentes largos con derribo integral, en ambos casos con entibación móvil. En la mecanización se ha generalizado el empleo de vehículos Diesel; por lo que se ha hecho necesaria una ventilación más intensa y también métodos de mantenimiento mejor adaptados al desarrollo de las máquinas.

La experiencia de Lorena prueba que la mecanización integral de una mina en yacimiento sedimentario es rentable. Exige una estrecha colaboración entre utilizadores y constructores de vehículos, que deben asegurar un buen servicio posventa. Es preciso también que los mineros tengan fe en la mecanización y que la seguridad sea suficiente.—L.

E. DUPUY DE LOME: *L'industrie minière en Espagne*. Indus. Minérale, DIX, núm. 8-9, 431-433 (1977).

Se trata de una conferencia pronunciada por el autor en el Congreso del S.I.M. celebrado en Biarritz (mayo 1977), donde participó como Vicepresidente de la Sociedad Andaluza de Piritas.

Pasó una revista rápida de las reservas y explotación de las minas españolas más ricas, considerando los hidrocarburos, uranio, lignito, minerales de hierro, cobre, plomo, cinc y sustancias diversas. Expuso un cuadro de la política de relanzamiento en los campos de la investigación y de la explotación después de la crisis de 1973. L. DE A.

## HIDROCARBUROS

A. HENTS: *Les techniques de stimulation de la production dans l'industrie extractive des hydrocarbures*. Industrie Minérale. Mine 4-77, págs. 193 a 216.

La explotación petrolífera comprende numerosas actividades sucesivas en el tiempo y casi siempre concordantes: la explotación, la perforación, el estudio de yacimientos, el acabado, el reacondicionamiento de pozos y la producción.

Las formaciones petrolíferas sufren, en el curso de estos trabajos, degradaciones o deterioros: por las barras de perforación que obstruyen sus poros, por filtraciones de las barras, por la cimentación de entibaciones que modifican sus características, por el acabado del equipamiento de los pozos con vistas a su producción y por la producción misma. El reacondicionamiento del pozo consiste en devolverle su capacidad de producción o en aumentarla. En este caso, es preciso proceder a la estimulación.

El estudio del yacimiento, que debe establecer los medios para obtener la máxima producción, necesita el aná-



lisis de las características de las rocas y de los fluidos que le circundan.

La porosidad de una roca caracteriza la importancia del volumen de los poros con respecto a su volumen total. La permeabilidad caracteriza la aptitud de la roca a dejar circular los fluidos. La reducción de la permeabilidad de una zona productiva próxima a la pared de un pozo caracteriza su deterioro.

La relación de estimulación es el cociente de los índices de productividad antes y después del tratamiento de estimulación. Esta operación se realiza según numerosos procedimientos empleándose particularmente dos: La acidulación y la fracturación. La estimulación puede actuar sobre una escasa profundidad para llevar la permeabilidad a la vecindad del sondeo con un valor similar al que tenía el terreno virgen. Se utiliza la acidulación cuando el objetivo es extraer los productos que colmatan las perforaciones. Los resultados pueden ser muy espectaculares según el grado de deterioro.

Los ácidos empleados son muy variables, a menudo se utiliza HCl o HF (principalmente en terrenos calizos). A estos ácidos se les añaden aditivos: inhibidores de la corrosión se aplican sobre el metal para protegerle del ataque ácido, productos tensioactivos facilitan la penetración del ácido en los poros, desemulsificantes evitan la formación de la emulsión, etc.

La estimulación se puede ejercer a mayor profundidad por la fracturación. La permeabilidad en la vecindad del sondeo debe ser inferior a la de la formación virgen. La relación de estimulación es en general muy limitada si la formación no está deteriorada; si lo está puede ser importante. Se combina la acción del ácido con la fracturación, en particular en las formaciones calizas de baja permeabilidad. El ácido está modificado por adición de un agente apropiado que retarda su acción y permite una penetración más activa.

En la fracturación hidráulica, entran en juego numerosos parámetros, de manera que es imposible determinar por cálculo la presión de desmoronamiento. Sin embargo, la experiencia ha revelado ciertas reglas uniando la dirección de la fractura al gradiente de fracturación (cociente entre la presión en el fondo y la profundidad) y a la profundidad misma. En la conducta de una fracturación intervienen dos magnitudes esenciales: la penetración y el espesor.

La penetración depende de numerosos parámetros; su control se efectúa sobre tres de ellos: la eficacia del fluido de fracturación (relación entre el volumen fluido verdaderamente utilizado al volumen empleado), el caudal y el tiempo de bombeo.

El espesor aumenta con la penetración, el caudal de bombeo y la viscosidad del fluido. Es grande en una formación tenue (10 m), limitada por formaciones macizas impermeables. En formación caliza, donde la conductividad se obtiene por el ataque de los bordes de la fractura

con el ácido, el espesor es autoportante. En formación de gres, la conductividad exige la presencia de un agente de sustentación. Se elige según su tendencia ser aplastado por las rocas duras y a incrustarse en las rocas blandas. La arena del río calibrada es muy apreciada, tanto más porque es muy económica.

Los fluidos de fracturación son variados: aceites brutos o refinados, agua, ácidos diluidos, geles a base de agua y ácidos; estos últimos se utilizan cada vez más a causa de su elevada viscosidad.

Los trabajos de laboratorio han permitido elaborar las bases teóricas de la estimulación y proporcionar las gráficas y ábacos destinados a la elección de los fluidos, los agentes de sustentación y una previsión de las conductividades obtenidas. Estos son sólo medios de aproximación, ya que estos trabajos no pueden tener en cuenta la existencia de diversos parámetros ligados a la disposición efectiva de una formación dada. La programación de una estimulación no puede, pues, ejecutarse únicamente por los cálculos; es necesaria la experiencia directa.

Existen otros procedimientos de estimulación diferentes a los estudiados aquí. En particular se pueden citar la explosión nuclear para estimular campos de gas de permeabilidad baja. Esta técnica no está aún muy experimentada como para ser fiable y poder hacer su evaluación económica.

Un estudio económico de la estimulación es siempre necesario para asegurarse que su costo se puede compensar ampliamente por el suplemento de producción que debe resultar. Estas técnicas son aplicables por otra parte, por ejemplo, para la desgasificación de una capa de carbón, para la gasificación subterránea, o para la lixiviación "in situ" de un mineral de uranio por inyección de soluciones ácidas.—L.

## ANALISIS MINERAL

CHRISTIAN JUNGE: *Cambios en la atmósfera terrestre producidos por el hombre y el desarrollo futuro*. Universitas XV, núm. 2, 1977, pglo. 7 a 114.

Nuestra atmósfera tiene gran número de gases traza, con vida relativamente corta, siendo esta de unas semanas a unos años, por ello su concentración atmosférica es función del equilibrio dinámico de sus ciclos.

Los dos temas estudiados fundamentalmente por el autor son: Aumento del dióxido de carbono como consecuencia de la combustión del carbón y aceite mineral. Cambios producidos en el ozono atmosférico por los clorofluorocarburos.

El autor llega a la conclusión de ser necesaria mucha investigación básica para comprender los procesos de la atmósfera en su estado natural.—L. DE A.

## GEOQUIMICA

C. LÓPEZ DE AZCONA, C. ALVAREZ HERRERO y F. MINGARRO MARTÍN: *Calizas biohermales: Estudio de biohermos actuales por análisis térmico diferencial y espectroquímico (II Parte)*. Estudios geol., 33, 267-274 (1977).

El objeto del trabajo es conocer los aspectos Geoquímicos de esqueletos carbonáticos pertenecientes a organismos coloniales actuales. Todas las muestras fueron tomadas en la Isla de Bali (Indonesia), y su estudio realizado por A. T. D., difractometría de R. X. y análisis Espectroquímico.

Las conclusiones a que llegan los autores son:

1.<sup>a</sup> Los componentes fundamentales del esqueleto son: Calcita, Dolomita, Magnesita, Gohetita (el Aragonito no se ha identificado).

2.<sup>a</sup> Los componentes minoritarios son: Estroncio, Hierro, Sodio, Manganeso, Plomo, Titanio, Potasio, Molibdeno, Vanadio y Cromo.

3.<sup>a</sup> Los grandes grupos presentan termogramas semejantes, siendo algunos específicos para cada género.

4.<sup>a</sup> La composición química de la teca de estos organismos coloniales, es función de la fisiología propia de cada organismo, con independencia total del biotipo en que viven.

5.<sup>a</sup> El estudio de los elementos menores les ha demostrado que la mayor o menor abundancia de cada uno de ellos depende de la fisiología del organismo y no del resultado de una adaptación al medio.

6.<sup>a</sup> Sean cuales fueren las condiciones ambientales físico-químicas del medio en que viven estos organismos, dentro de unos intervalos que definen su habitat, toman los productos que necesitan, independientemente de la concentración en que estén dichos productos o de las variaciones que sufran dichas concentraciones.—L.

## ENERGIA

J. M. FERNÁNDEZ FELGUEROSO: *La situation du secteur de l'énergie en Espagne*. Indus. Minérale DIX, núm. 8-9, 425-430 (1977).

Se trata de una conferencia pronunciada por el autor en el Congreso del S. I. M. celebrado en Biarritz en mayo

(1977), donde participó como Presidente del Consejo de Administración de E. N. Hulleras del N. S. A.

Consta de dos partes.

1.<sup>a</sup> Aprovechamiento de energía en España.—Debe pasar la demanda de 96 Mtec en 1975 a 173 ó 174 Mtec en 1985. Valoraciones para poderse realizar el plan energético nacional de 24 de enero de 1975, en período de rectificación cuando se redacta esta nota bibliográfica. Papel a considerar para las diversas energías, primarias, iniciaciones a la economía de energía, incremento de la parte correspondiente al carbón y a la energía nuclear.

2.<sup>a</sup> La industria del carbón en España.—Considera los proyectos de investigación, con la ayuda gubernamental para doblar la producción de 1976 y alcanzar en 1979 las 33,7 Mt de hulla; 4,8 Mt de antracita y 19,8 Mt de lignito.—L. DE A.

## SISMOLOGIA

ALFONSO LÓPEZ ARROYO, JULIO VILLACAÑAS BERENGUER y ANGEL GARCÍA YAGÜE: *Los terremotos ocurridos en Friuli (Italia) en 1976*. Comisión Permanente de Normas Sismoresistentes. Madrid, 1977, 50 págs. y varias láminas.

Describen la zona del terremoto en sus aspectos geológico, tectónico y sismotectónico, consideran también la morfología y su población. Relacionan las secuencias sísmicas desde el 6 de mayo al 28 de septiembre. Mencionan los daños en general, tanto en víctimas como en las diversas construcciones: edificios públicos y monumentales, instalaciones industriales y comerciales, ferrocarriles, carreteras, obras hidráulicas, redes eléctricas y redes telefónicas.

Estudian las observaciones en relación con la norma PDS-1 de las viviendas, edificios públicos, monumentos, hospitales, construcciones militares, instalaciones industriales, metanoductos, carreteras, ferrocarriles, puentes, obras hidráulicas, depósitos de agua, red eléctrica, red telefónica, agricultura, ganadería, detalles ornamentales, etc.

Consideran la ayuda a la zona afectada inmediata, mediata y futura. Establecen una serie de conclusiones en relación con las normas sismorresistentes y con la ayuda a la zona siniestrada. Completan la obra ocho mapas, uno de ellos en color y 68 fotografías de obras dañadas.—L. DE A.

# NORMAS PARA LOS AUTORES

Los trabajos que se reciban para su publicación en el **BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO** serán revisados para decidir si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

## *Texto.*

Se entregará mecanografiado a doble espacio por una sola cara y con amplios márgenes. Este texto se considerará definitivo y en él será marcado la fecha de recepción y prioridad.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, cuadros y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse si es posible.

Todos los trabajos en lengua castellana irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original.

## *Bibliografía.*

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

En casos excepcionales se podrá citar alguna obra no consultada.

## *Parte gráfica.*

Los originales de figuras, cuadros y fotografías se entregarán aislados, indicándose en ellos el título del trabajo, nombre del autor y número de

la ilustración. La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

## *Pruebas.*

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificaciones ni adiciones al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de quince días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

## *Tiradas aparte.*

Se asignan 25 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en el original o en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del **BOLETÍN** introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio. Instituto Geológico y Minero de España

Ríos Rosas, 23. Madrid-3

## Colección Temas Geológico - Mineros

Aparece una nueva colección del Instituto Geológico y Minero de España: **TEMAS GEOLOGICO - MINEROS**.

Su moderna presentación y manejable formato, de 21×14 centímetros, así como la dedicación de su contenido: Congresos, Simposios, Reuniones Científicas, Cursos Monográficos, etcétera, harán, sin duda, que muy pronto esta colección sea una de las más importantes publicaciones del IGME.

Nada mejor y más oportuno para su iniciación que el tema elegido: el primer Curso **ROSO DE LUNA** dedicado a la investigación y economía de los recursos geológico-mineros, que ha organizado la Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción y que se impartió meses pasados en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, bajo la coordinación de la Fundación Gómez Pardo y que patrocinaron el Instituto Geológico y Minero de España dentro de la citada Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción, el Centro de la Energía de la Dirección General de la Energía, Enadimsa (INI), todos dentro del Ministerio de Industria y Energía, así como las Universidades

Politécnica y Complutense de Madrid del Ministerio de Educación y Ciencias.

En esta primera publicación —Tema I— se recogen en ocho tomos las conferencias impartidas en dicho curso a lo largo de sus siete áreas, más un tomo de introducción dedicado a las conferencias inaugural y de clausura, incluyéndose también los resúmenes de las conferencias publicadas en las distintas áreas.

Los títulos de los ocho volúmenes son:

Introducción,

Area I. Política y economía de las materias minerales.

Area II. Estudio Metalogénico de Depósitos. Minerales y Técnicas Especiales.

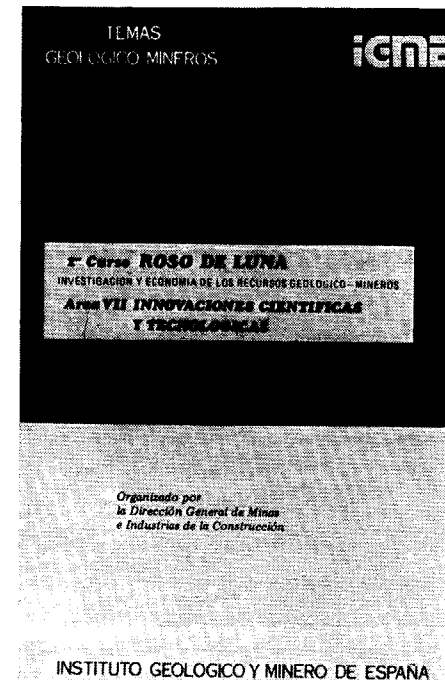
Area III. Búsqueda y evaluación de Recursos Geológico Mineros .

Area IV. Desarrollo Minero y Mineralúrgico.

Area V. Aspectos legales.

Area VI. Minería y medio ambiente.

Area VII. Innovaciones Científicas y Tecnológicas.



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

c/ Ríos Rosas, 23. Madrid (3)

SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA

c/ Claudio Coello, 44. Madrid (1)



# Colección Temas Geológico - Mineros

Aparece una nueva colección del Instituto Geológico y Minero de España: TEMAS GEOLOGICO - MINEROS.

Su moderna presentación y manejable formato, de 21×14 centímetros, así como la dedicación de su contenido: Congresos, Simposios, Reuniones Científicas, Cursos Monográficos, etcétera, harán, sin duda, que muy pronto esta colección sea una de las más importantes publicaciones del IGME.

Nada mejor y más oportuno para su iniciación que el tema elegido: el primer Curso ROSO DE LUNA dedicado a la investigación y economía de los recursos geológico - mineros, que ha organizado la Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción y que se impartió meses pasados en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, bajo la coordinación de la Fundación Gómez Pardo y que patrocinaron el Instituto Geológico y Minero de España dentro de la citada Dirección General de Minas e Industrias de la Construcción, el Centro de la Energía de la Dirección General de la Energía, Enadimsa (INI), todos dentro del Ministerio de Industria y Energía, así como las Universidades

Politécnica y Complutense de Madrid del Ministerio de Educación y Ciencias.

En esta primera publicación —Tema I— se recogen en ocho tomos las conferencias impartidas en dicho curso a lo largo de sus siete áreas, más un tomo de introducción dedicado a las conferencias inaugural y de clausura, incluyéndose también los resúmenes de las conferencias publicadas en las distintas áreas.

Los títulos de los ocho volúmenes son:

Introducción,

Area I. Política y economía de las materias minerales.

Area II. Estudio Metalogénico de Depósitos. Minerales y Técnicas Especiales.

Area III. Búsqueda y evaluación de Recursos Geológico Mineros .

Area IV. Desarrollo Minero y Minera-lúrgico.

Area V. Aspectos legales.

Area VI. Minería y medio ambiente.

Area VII. Innovaciones Científicas y Tecnológicas.



**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

c/ Ríos Rosas, 23. Madrid (3)

**SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA**

c/ Claudio Coello, 44. Madrid (1)



## COLECCION - MEMORIAS

Bajo el nombre de Memorias del Instituto Geológico y Minero de España se viene publicando esta colección desde el año 1854. Son series monográficas sobre temas geológico-mineros. En existencia las siguientes:

Precio ejemplar ordinario, 300 ptas.; extraordinario (\*), 500 ptas.

- Tomo 26 - 1913. **Varios**. Criaderos de hierro de España. Volumen I. Murcia.
- Tomo 28 - 1911. **D. de Orueta**. Estudio geológico y petrográfico de la Serranía de Ronda.
- Tomo 36 - 1929. **F. Azpeitia Moros**. Monografía de las melanopsis vivientes y fósiles de España.
- Tomo 38 - 1933. **F. Azpeitia Moros**. Conchas bivalvas de agua dulce de España y Portugal. Volumen I.
- Tomo 39 - 1933. **F. Azpeitia Moros**. Conchas bivalvas de agua dulce de España y Portugal. Volumen II.
- Tomo 40 - 1933. **J. García Siniériz**. La interpretación geológica de las mediciones geofísicas aplicadas a la prospección. Volumen I.
- Tomo 41 - 1935. **Varios**. Explicación del nuevo Mapa geológico de España, escala 1:1.000.000 Volumen I. Sistema Cambriano.
- Tomo 42 - 1944. **P. Fallot y A. Marín**. La Cordillera del Rif. Volumen I, II y Atlas.
- Tomo 48 - 1944. **J. García Siniériz**. La interpretación geológica de las mediciones geofísicas aplicadas a la prospección. Volumen III.
- Tomo 56 - 1955. **IGME**. Las nuevas ediciones del Mapa geológico de la Península a escala 1:1.000.000 (1952 y 1955).
- Tomo 60 - 1959. **P. Comte**. Recherches sur les terrains anciens de la Cordillère Cantabrique.
- Tomo 61 - 1960. **J. Oliveros y B. Escandell**, con la colaboración de **G. Colom**. Temas geológicos de Mallorca.
- Tomo 62 - 1961. **Febrel Molinero**. Introducción al estudio de la Petrología estructural.
- Tomo 64 - 1963. **J. M.<sup>a</sup> Ríos García**. Materiales salinos del suelo español.
- Tomo 65 - 1964. **L. Saavedra García**. Microfacies del Secundario y del Terciario de la zona Pirenaica española.
- Tomo 66 - 1965. **R. H. Wagner**. Paleobotanical Dating of Upper Carboniferous Folding Phases in NW. Spain.
- Tomo 67 - 1966. **J. Donat Zopo**. Catálogo Espeleológico de la Provincia de Valencia.
- Tomo 69 - 1968. **P. Chauve**. Etude Géologique du Nord de la Province de Gádiz.
- Tomo 70 - 1969. **M. Waterlot**. Contribution a l'étude Géologique du Carbonifère Ante-Stephanien des Pyrénées Centrales Espagnoles.
- Tomo 71 - 1969. **F. Rambaud Pérez**. El Sinclinal Carbonífero de Río Tinto (Huelva) y sus mineralizaciones asociadas.
- Tomo 72 - 1970. **J. A. Vera**. Estudio geológico de la Zona Subbética en la Transversal de Loja y sectores adyacentes.
- Tomo 73 - 1970. **E. Bouix**. Contribution a l'étude des Formations Ante-Ordoviciennes de la Meseta Meridionale (Ciudad Real et Badajoz).
- Tomo 74 - 1970. **R. Hernando de Luna**. Biografía Geológico-minera de la Provincia de Córdoba.
- Tomo 75 - 1970. **F. Lozte**. El Cámbrico de España.
- Tomo 76 - 1970. **J. Pérez Regodón**. Guía Geológico-Minero de la Provincia de Madrid.
- Tomo 77 - 1970. **K. Strauss**. Sobre la geología de la provincia piritífera del suroeste de la Península Ibérica y de sus yacimientos, en especial sobre la mina de pirita de Lousal (Portugal).
- Tomo 78 (\*) - 1971. **J. Ramírez del Pozo**. Bioestratigrafía y Microfacies del Jurásico y Cretácico del Norte de España (Región Cantábrica).
- Tomo 79 (\*) - 1971. **División de Geología del IGME**. Estudio Geológico de la provincia de Gulpúzcoa (cuadros y mapas, escala 1:50.000).
- Tomo 80 - 1971. **L. Vilas Minondo**. El Paleozoico Inferior y Medio de la cordillera cantábrica entre los ríos Porma y Bernesga (León).
- Tomo 81 (\*) - 1972. **C. Alvarez Fernández, J. E. Coma Guillén, C. Lucena Bonny, J. Porras Martín, M. A. San José Lancha y N. Quang Trac**. Mapa Hidrogeológico Nacional. Explicación y Mapas de Lluvia útil. Reconocimiento hidrogeológico y Síntesis de los sistemas acuíferos.
- Tomo 83 (\*) - 1972. **División de Geología del IGME**. Estudio Geológico de la Provincia de Alava (Cuadros y Mapa, escala 1:50.000).
- Tomo 84 (\*) - 1972. **F. J. Martínez Gil**. Estudio Hidrogeológico del Bajo Ampurdán (Gerona).
- Tomo 85 (\*) - 1974. **M. Colchen**. Geología de la Sierra de la Demanda (Burgos-Logroño).
- Tomo 86 - 1975. **L. López Ruiz, A. Aparicio y L. García Cacho**. El metamorfismo de la Sierra de Guadarrama, Sistema Central Español.
- Tomo 87 - 1975. **M. A. Caballero y J. L. Martín Vivoldi**. Estudio Mineralógico y Genético de la fracción fina del Triás Español.
- Tomo 88 - 1975. **A. Aparicio, J. L. Barrera, J. M.<sup>a</sup> Caraballo, M. Peinado y J. M.<sup>a</sup> Tinad**. Los materiales graníticos hercínicos del Sistema Central Español.
- Tomo 89 - 1976. **F. Vázquez Guzmán y F. Fernández Pompa**. Contribución al conocimiento Geológico del Suroeste de España.
- Tomo 90 - 1977. **R. Lunar Hernández**. Mineralogénesis de los yacimientos de hierro del Noroeste de la Península.
- Tomo 91 - 1977. **C. F. López Vera**. Hidrogeología regional de la cuenca del Río Jarama en los alrededores de Madrid.

### INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

c/ Ríos Rosas, 23. Madrid-3. Telf. 441 70 67

### SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA

c/ Claudio Coello, 44. Madrid-1. Telf. 276 20 01

## COLECCION-INFORMES

Informes y Proyectos del I G M E. Obras monográficas que recogen los últimos trabajos de investigación realizados por el I G M E.

Precio de cada ejemplar, 300 ptas.

### VOLUMENES PUBLICADOS

- Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Sur (Almería).
- Estudio Hidrogeológico y de Ordenación del Campo de Níjar. Tomo I.
- Estudio Hidrogeológico y de Ordenación del Campo de Níjar. Tomo II.
- Coste del Agua Subterránea.
- Estimación de las reservas minerales en Vizcaya.
- Estimación del potencial minero de la Zona de Arcucelos (Orense).
- Reserva «Zona de Huelva»:
  - 1 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 en las hojas 939: Castillo de las Guardas y 940: Castilblanco de los Arroyos.
  - 2 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 de la hoja 958: Puebla de Guzmán.
  - 3 - Estudio Geológico Minero a 1:10.000 en las áreas de Cobullos-Mina del Soldado y Sur de Higuera de la Sierra.
  - 4 - Estudio Geológico Minero a 1:20.000 en el área norte de Aznalcollar.
  - 5 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 en la hoja 961: Aznalcollar.
  - 6 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 en la hoja 982: La Palma del Condado.
  - 7 - Estudio Geológico Minero a 1:10.000 en el área de Nerva Mina de Peña de Hierro.
  - 8 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 en la hoja 936: Paymogo.
  - 9 - Estudio Geológico Minero a 1:10.000 en el área de las minas del Castillo de las Guardas
  - 10 - Investigación geofísica en el área de las minas del Castillo de las Guardas (La Admirable).
  - 11 - Estudio Geológico Minero a 1:10.000 en el flanco norte del anticlinal de Puebla de Guzmán.
  - 12 - Investigación geofísica en el área Herrerías-Cabexas del Pasto.
  - 13 - Investigación geoquímica en las hojas 936: Paymogo, 939: el Castillo de las Guardas, 958: Puebla de Guzmán y 961: Aznalcollar.
- Prospección a la Batea de minerales aluvionares en la provincia de Cáceres. Área del Valle del Tiétar y Moraleja.
- Fase Previa del proyecto de investigación minera de la Cordillera Ibérica.
- Investigación de Plomo-Cinc en la reserva de la LOMA CHARRA (Soria).
- Investigación de Minerales de Plomo en el Área de Mazarambroz (Toledo). Fase Previa.
- Estudio Previo para la investigación de Bauxita en el Subsector I., Cataluña, Área 3, La LLACUNA (Barcelona y Tarragona).
- Investigación de Minerales de Bauxita, Fuentespalda (Teruel-Tarragona). Fase Previa.
- Investigación minera en el área Argentera-Mola (Tarragona).
- Investigación Minera Submarina en el Subsector «HUELVA I». Golfo de Cádiz.
- Estimación de posibilidades minerales en el Subsector II, Suroeste, Área I. MAZAGON (Huelva). Fase Previa.
- Exploración de Minerales Magnéticos en Sierra Blanca (Málaga).
- Investigación minera en el área Vimbodi-Selva (Tarragona).
- Investigación de lignitos en Melrama (La Coruña).
- Investigación minera en Hiedelaencina (Guadalajara).
- Investigación minera en la zona Silleda-Beariz (Galicia).
- Investigación minera preliminar en la plataforma continental submarina (Málaga-Gibraltar).
- Proyecto: Investigación de estaño-wolframio en la Zona Monterrey-Maceda (Orense).
- Monografía de Sustancias Minerales. Antimonio.
- Monografía de Sustancias Minerales. Barita.
- Monografía de Sustancias Minerales. Circonio.
- Monografía de Sustancias Minerales. Espato fluor.
- Monografía de Sustancias Minerales. Esquistos bituminosos.
- Monografía de Sustancias Minerales. Estaño.
- Monografía de Sustancias Minerales. Litio.
- Monografía de Sustancias Minerales. Manganeso.
- Monografía de Sustancias Minerales. Niobio y Tántalo.
- Monografía de Sustancias Minerales. Níquel.
- Monografía de Sustancias Minerales. Sal Gema.
- Monografía de Sustancias Minerales. Sales Potásicas.
- Monografía de Sustancias Minerales. Titanio.
- Monografía de Sustancias Minerales. Wolframio.
- Monografía de Rocas Industriales. Asbestos, Talco y Pirofilita.
- Monografía de Rocas Industriales. Arenas y Gravas.
- Monografía de Rocas Industriales. Bauxita y Laterita.
- Monografía de Rocas Industriales. Dunita y Olivino.
- Monografía de Rocas Industriales. Pizarras.
- Monografía de Rocas Industriales. Rocas Calcáreas Sedimentarias.
- Monografía de Rocas Industriales. Rocas Silicoaluminosas.
- Monografía de Rocas Industriales. Vidrios Volcánicos.

### SERVICIO DE PUBLICACIONES, MINISTERIO DE INDUSTRIA

c/ Claudio Coello, 44. MADRID (1)

### INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

c/ Ríos Rosas, 23. MADRID (3)



PLAN NACIONAL DE INVESTIGACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

# ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA SUR (ALMERIA)

## MEMORIA - RESUMEN

Precio del ejemplar: 300 ptas.

El INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, como organismo dedicado a la investigación, consciente de su responsabilidad y de su dilatada experiencia en el campo de las aguas subterráneas, inició en el año 1970, con carácter urgente, la investigación hidrogeológica del país, bajo el «PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION DE AGUAS SUBTERRANEAS», encuadrado dentro del «PLAN NACIONAL DE INVESTIGACION MINERA».

Dada la complejidad de los trabajos a realizar y ante la IMPOSIBILIDAD de atender simultáneamente a todo el Territorio Nacional la PLANIFICACION de la investigación basada en los criterios de:

- Terminar las investigaciones en curso.
- Cuantificar los recursos subterráneos de cada región.
- Conocer los problemas más urgentes.

se encaminó al estudio de las grandes áreas con problemas más urgentes eligiéndose entre ellas la provincia de ALMERIA, como una de las regiones de España más deficitaria de agua.

En el período 1971-1975 se han realizado simultáneamente los siguientes proyectos de investigación.

- Cuenca MEDIA Y BAJA DEL JUCAR.
- Cuenca ALTA del JUCAR Y SEGURA.
- Cuenca MEDIA Y BAJA DEL SEGURA.
- Cuenca ALTA Y MEDIA DEL GUADIANA.
- Cuenca SUR-ZONA OCCIDENTAL (Málaga).
- Cuenca SUR-ZONA ORIENTAL (Almería).
- Baleares,

y se terminaron los estudios de la Cuenca del Guadalquivir, iniciándose los estudios de la Cuenca del Duero. Por lo tanto en este cuatrienio se han investigado seis de las diez grandes cuencas hidrográficas españolas.

La presente Memoria es un resumen de la inves-

tigación hidrogeológica llevada a cabo por este INSTITUTO concretamente en la Cuenca Hidrográfica del Sur (parte oriental), bajo el título «ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA CUENCA SUR-ALMERIA».

En ella se exponen los resultados de la investigación llevada a cabo durante un período de cuatro años, en el intervalo de 1971 a 1975, y las principales conclusiones y recomendaciones para la gestión y conservación de los principales sistemas acuíferos, en resumen, para la óptima explotación del agua subterránea.

Esta Memoria es tan sólo una parte del INFORME completo editado, en número restringido de ejemplares, en donde se recoge todo el trabajo realizado.

Además de este Informe la documentación complementaria generada durante los trabajos de investigación (campanas de geofísica, inventario de puntos acuíferos, ensayos de bombeo, análisis químicos, cartografía hidrogeológica, etc.) se halla convenientemente archivada en las dependencias del INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, a disposición del público en general y particularmente de

las Entidades o Corporaciones locales de la Provincia de Almería.

Dicho INFORME consta de 11 volúmenes, cuyos títulos son:

## MEMORIA - RESUMEN.

INFORME I	Marco geográfico y económico.
INFORME II	Climatología e hidrología.
INFORME III	Demanda.
INFORME IV	Planes hidráulicos.
INFORME V	Campo de Dalias.
INFORME VI	Cuenca del Andarax.
INFORME VII	Cuencas del Almanzora y Antas.
INFORME VIII	Cuenca del Aguas.
INFORME IX	Cuenca del Adra.
INFORME X	Campo de Níjar.



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

c/ Ríos Rosas, 23. MADRID (3)

SERVICIO DE PUBLICACIONES, MINISTERIO DE INDUSTRIA

c/ Claudio Coello, 44. MADRID (1)

# MAPA GEOLOGICO NACIONAL E. 1:50.000

## 2.ª Serie (proyecto MAGNA)

En existencia las siguientes:

Precio de cada ejemplar: 400 ptas.

1. Carliño.	331. Puigreig.	821. Alcoy.
2. Cillero.	336. Portela d'Home.	823. Jávea.
3. San Ciprián.	351. Olvega.	826. Cheles.
6. San Salvador de Serantes.	362. Calaf.	827. Alconchel.
7. Cedeira.	363. Manresa.	828. Barcarrota.
8. Vivero.	364. La Garriga.	831. Zalamea de la Serena.
9. Foz.	391. Igualada.	851. Rabito.
12. Busto.	392. Sabadell.	852. Villanueva del Fresno.
13. Avilés.	393. Mataró.	853. Burguillos del Cerro.
14. Gijón.	417. Espluga de Francolí.	856. Maguilla.
15. Lastres.	418. Montblanch.	884. La Carolina.
21. La Coruña.	419. Villafranca del Panadés.	885. Santisteban del Puerto.
22. Puente deume.	420. Hospitalet de Llobregat.	890. Calasparra.
23. Puentes de García Rodríguez.	446. Valls.	891. Cieza.
24. Mondoñedo.	447. Villanueva y Geltrú.	893. Elche.
27. Tineo.	448. Prat de Llobregat.	894. Cabo de Santa Pola.
28. Grado.	473. Tarragona.	903. Montoro.
29. Oviedo.	492. Segura de los Baños.	907. Villacarrillo.
30. Villaviciosa.	493. Oliete.	908. Santiago de la Espada.
33. Comillas.	494. Calanda.	910. Caravaca.
34. Torrelavega.	495. Castellseras.	911. Cehégín.
35. Santander.	510. Marchamalo.	912. Mula.
36. Castro Urdiales.	545. Morella.	913. Orihuela.
37. Algorta.	546. Uldecona.	919. Almadén de la Plata.
38. Bermeo.	547. Alcanar.	920. Constantina.
39. Lekeitio.	570. Albocácer.	921. Navas de la Concepción.
40. Jaizquíbel.	571. Vinaroz.	922. Santa María de Trassierra.
41. Irún.	571 bis. Con la 571.	923. Córdoba.
47. Villalba.	582. Getafe.	924. Bujalance.
51. Belmonte de Miranda.	583. Arganda.	931. Zarzilla de Ramos.
52. Proaza.	584. Mondéjar.	932. Coy.
53. Mieres.	593. Cuevas de Vinromá.	933. Alcantarilla.
59. Villacarniedo.	594. Alcalá de Chisvert.	934. Murcia.
61. Bilbao.	606. Chinchón.	935. Torrevieja.
62. Durango.	607. Tarancón.	940. Castilblanco de los Arroyos.
63. Eibar.	614. Manzanera.	941. Ventas Quemadas.
64. San Sebastián.	615. Alcora.	942. Palma del Río.
65. Vera de Bidasoa.	616. Villafamés.	943. Posadas.
66. Maya del Baztán.	617. Faro de Oropesa.	944. Espejo.
72. Lugo.	631. Ocaña.	953. Lorca.
78. Pola de Lena.	632. Horcajo de Santiago.	954. Totana.
84. Espinosa de los Monteros.	635. Fuentes.	955. Fuente Alamo de Murcia.
88. Vergara.	636. Villar del Humo.	956. San Javier.
90. Sumbilla.	637. Landete.	962. Alcalá del Río.
91. Valcarlos.	638. Alpuente.	963. Lora del Río.
91 bis. Mendizar.	639. Jérica.	964. La Campana.
95. El Pino.	640. Segorbe.	965. Ecija.
97. Guntin.	641. Castellón de la Plana.	975. Puerto Lumbreras.
98. Baralla.	642. Islas Columbretas. Con la 641.	976. Mazarrón.
154. Lalín.	659. Lillo.	977. Cartagena.
155. Chantada.	663. Valera de Abajo.	978. Llano del Beal.
159. Bembibre.	664. Enguadanos.	983. Sanlúcar la Mayor.
175. Singües.	665. Mira.	984. Sevilla.
187. Orense.	666. Chelva.	987. El Rubio.
188. Nogueira de Ramuín.	667. Villar del Arzobispo.	997. Aguilas.
204. Logroño.	668. Sagunto.	997 bis. Cope.
205. Lodoso.	669. Moncofar.	999. Huelva.
207. Sos del Rey Católico.	690. Santa María del Campo Rus.	1.000. Moguer.
225. Ribadavia.	691. Motilla del Palancar.	1.001. Almonte.
226. Allariz.	693. Utiel.	1.002. Dos Hermanas.
236. Astudillo.	694. Chulilla.	1.003. Utrera.
237. Castrogeriz.	696. Burjasot.	1.004. Marchena.
243. Calahorra.	719. Venta del Moro.	1.013. Macael.
244. Alfaro.	720. Requena.	1.014. Vera.
245. Sádaba.	722. Valencia.	1.015. Garrucha.
263. Celanova.	740. Villarrobledo.	1.016. Los Caños. Con la 999.
264. Ginzó de Limia.	761. Llanos del Caudillo.	1.017. El Abalarío.
274. Torquemada.	763. Sotuélamos.	1.018. El Rocío.
282. Tudela.	788. El Bonillo.	1.019. Los Palacios y Villafranca.
300/301. Lovios.	789. Lezuza.	1.030. Tabernas.
302. Baltar.	794. Canals.	1.031. Sorbas.
320. Tarazona de Aragón.	796. Gandía.	1.032. Mojácar.
329. Pons.	814. Villanueva de la Fuente.	1.033. Palacio de Doñana.
330. Cardona.	820. Onteniente.	1.034. Lebrija.

SERVICIO DE PUBLICACIONES, MINISTERIO DE INDUSTRIA

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

c/ Claudio Coello, 44. MADRID (1)

c/ Ríos Rosas, 23. MADRID (3)

**MAPA GEOLOGICO NACIONAL E. 1:50.000**  
**1.ª Serie (a extinguir)**

Consta de Hoja y Memoria descriptiva. La edición completa se compone de 1.130 hojas, a extinguir. Esta 1.ª Serie tiene su continuación en la 2.ª Serie, Proyecto MAGNA. En existencia las siguientes:

**Precio del ejemplar: 300 ptas.**

31. Bibadesella.	564. Fuertescusa.	844. Ontur.
54. Ríoseco.	573. Gata.	845. Yecia.
67. Mugía.	587. Las Majadas.	846. Castalla.
77. Plaza Teverga.	588. Zafrilla.	848. Altea.
79. Puebla de Lillo	591. Mora de Rubielos.	853. Burguillos del Cerro.
84. Espinosa de los Monteros.	605. Aranjuez.	854. Zafra.
128. Riello.	610. Cuenca.	857. Valsequillo.
129. La Robia.	611. Cañete.	858. El Viso.
133. Prádanos de Ojeda.	628. Torrijos.	859. Pozoblanco.
160. Benavides.	643. La Calobra.	864. Venta de los Santos.
162. Gradefes.	644. Pollensa.	865. Siles.
163. Villamizar.	645. Formentor.	869. Jumilla.
168. Briviesca.	650. Cañaveral.	876. Fuente de Cantos.
205. Lodoso.	653. Valdeverdeja.	877. Llerena.
206. Peralta.	670. Sóller.	885. Santisteban del Puerto.
208. Uncastillo.	671. Inca.	886. Beas de Segura.
210. Yebra de Basa.	672. Artá.	899. Guadalcanal.
211. Boltaña.	678. Casar de Cáceres.	917. Aracena.
217. Pulgarcidá.	688. Quintanar de la Orden.	918. Santa Olalla del Cala.
241. Angulano.	695. Liria.	937. El Cerro de Andévalo.
252. Tremp.	698. Palma de Mallorca.	938. Nerva.
260. Oya.	699. Porreras.	946. Martos.
275. Santa M.* del Campo.	700. Manacor.	959. Calañas.
284. Ejea de los Caballeros.	702. San Vicente de Alcántara.	960. Valverde del Camino.
289. Benabarre.	703. Arroyo de la Luz.	967. Baena.
297. Estarlit.	705. Trujillo.	985. Carmona.
298. La Guardia.	723. Cala Figuera.	991. Iznalloz.
313. Antigüedad.	724. Lluchmayo.	1.008. Montefrío.
322. Remolinos.	725. Felanix.	1.009. Granada.
323. Zuera.	727. Albuquerque.	1.025. Loja.
324. Grañón.	731. Zorita.	1.046. Carboneras.
325. Peralta de Alcofea.	738. Villarta de San Juan.	1.059. El Cabo de Gata.
327. Os de Balaguer.	741. Minaya.	1.060. El Pozo de los Frailes.
346. Aranda de Duero.	743. Madrigueras.	1.061. Cádiz.
347. Peñaranda de Duero.	744. Casas Ibáñez.	1.072. Estepona.
354. Alagón.	745. Jalance.	1.079/80. Alegranza.
355. Leciñena.	746. Llombay.	1.081. Montaña Clara.
356. Lenaja.	750. Gallina.	1.082. Graciosa.
369. Coreas.	751. Villar del Rey.	1.083. Teguiise.
374. Peñafiel.	754. Madrigalejo.	1.084. Harla.
421. Barcelona.	762. Tomelloso.	1.087. Punta Pechiguera.
427. Medina del Campo.	764. Munera.	1.088. Arrecife.
434. Barahona.	765. La Gineta.	1.089. El Charco.
435. Arcos de Jalón.	767. Carcelen.	1.092. Cotillo.
462. Maranchón.	770. Alcira.	1.093. Lobos.
486. Jadraque.	772. San Miguel.	1.096. Tegueste.
488. Ablanque.	773. San Juan Bautista.	1.097. Punta de Anaga.
500. Villar del Ciervo.	776. Montijo.	1.098. La Oliva.
501. La Fuente de San Esteban.	779. Villanueva de la Serena.	1.099. Puerto de Lajas.
502. Matilla de los Caños del Río.	789. Lezuza.	1.102. Punta de Teno.
503. Las Veguillas.	795. Játiva.	1.103. Icod de los Vinos.
525. Ciudad Rodrigo.	798. Ibiza.	1.104/05. Sta. Cruz de Tenerife y San
526. Serradilla del Arroyo.	799. Santa Eulalia.	Andrés.
527. Sequeros.	805. Castuera.	1.106/07. Puerto de las Cabras.
532. Las Navas del Marqués.	812. Valdepeñas.	1.109. Los Carrizales.
536. Guadalajara.	815. Robledo.	1.110. Guía de Isora.
537. Auñón.	818. Montealegre.	1.111. Güimar.
539. Paralejos de las Truchas.	819. Caudete.	1.114. La Pared.
541. Santa Eulalia.	822. Benisa.	1.115. Tuineje.
542. Alfambra.	824/849. San Francisco Javier.	1.118/24. Granadilla de Abona y las
550. Fuente Guinaldo.	825/850. Nuestra Señora del Pilar.	Galletas.
560. Alcalá de Henares.	838. Santa Cruz de Mudela.	1.119. Lomo de Arico.
561. Pastrana.	840. Bierservida.	1.122. Jandia.

**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

c/ Ríos Rosas, 23. MADRID (3)

SERVICIO DE PUBLICACIONES, MINISTERIO DE INDUSTRIA

c/ Claudio Coello, 44. MADRID (1)

**MAPAS NACIONALES A ESCALA 1:200.000**

En esta escala se encuentran totalmente publicados los mapas siguientes:

### De Síntesis Geológica:

Consta de 87 Hojas y Memorias. Precio del ejemplar: 400 ptas. Hoja y Memoria. (Excluido el archipiélago canario por existir cartografía de éste a escala 1 : 100.000.)

**Metagenético:**

Consta de 87 Hojas y Memorias. Precio del ejemplar: 400 ptas. Hoja y Memoria. (Excluido el archipié-  
[ago canario.]

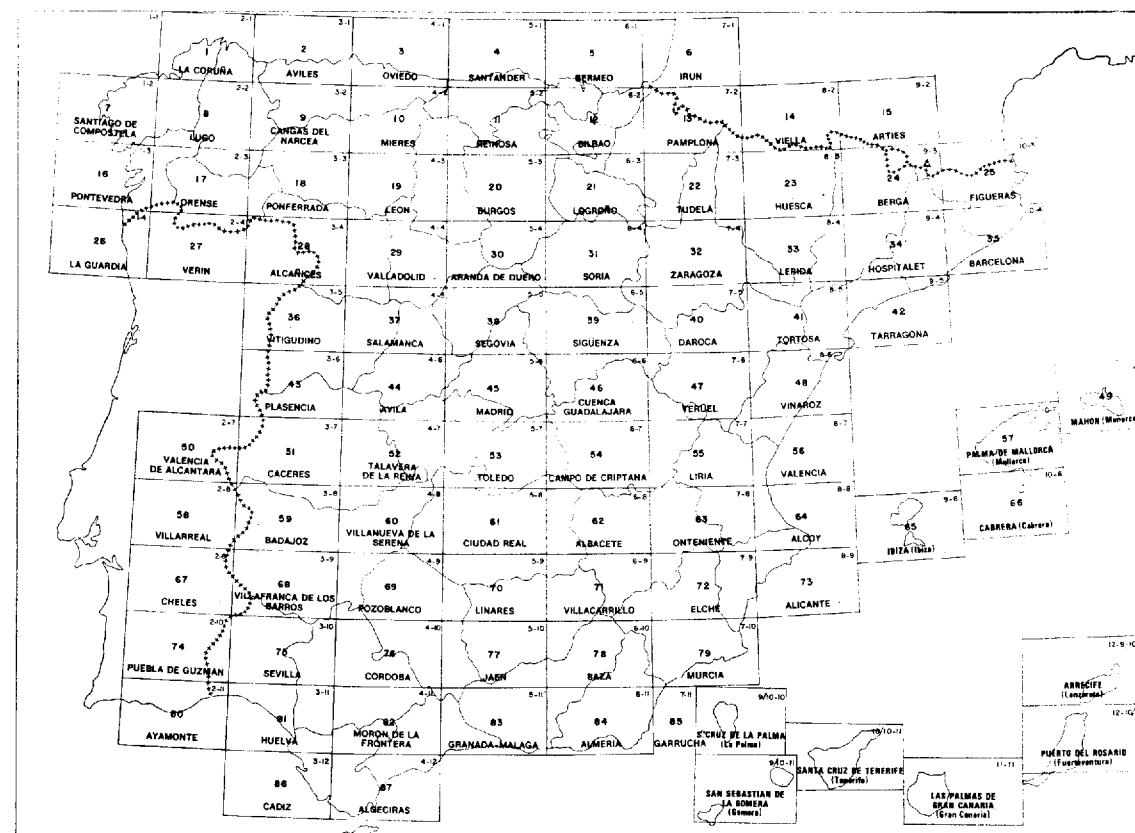
**Geotécnico General:**

Consta de 93 Hojas y Memorias. Precia del ejemplar: 300 ptas. Hoja y Memoria.

**De Rocas Industriales:**

Consta de 93 Hojas y Memorias. Precia del ejemplar: 300 ptas. Hoja y Memoria.

## División en Hojas del Mapa de España a Escala 1:200.000 (Mapas de Síntesis Geológica, Geotécnico General, de Rocas Industriales y Metalogenético)



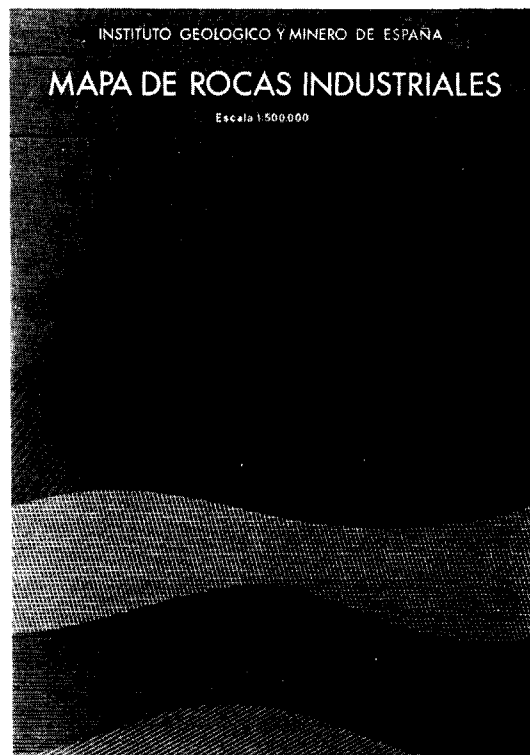
**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

c/ Ríos Rosas, 23. MADRID (3)

SERVICIO DE PUBLICACIONES. MINISTERIO DE INDUSTRIA

c/ Claudio Coello, 44. MADRID (1)





## ATLAS E INVENTARIO DE ROCAS INDUSTRIALES

Realizado por la División de Geotecnia del IGME

Comprende los siguientes grandes apartados:

1. LAS ROCAS INDUSTRIALES Y SU APROVECHAMIENTO GLOBAL.
2. PLANIFICACION DE LA INVESTIGACION DE ROCAS INDUSTRIALES EN EL III PLAN DE DESARROLLO.
  - Planificación del estudio de los mapas de Rocas Industriales 1:200.000.
  - Planificación de estudios sectoriales.
3. INVENTARIO Y MAPA DE ROCAS INDUSTRIALES 1:500.000.
  - Mapa director.
  - Mapa de provincias y división de hojas 1:200.000.
  - Inventario y mapa de Rocas Industriales 1:500.000.
4. INFORMACION ESTADISTICA.
  - Cuadro de explotación de Rocas Industriales por provincias y tipos de rocas.
  - Cuadro de utilización de las principales Rocas Industriales.
  - Importación y exportación de Rocas Industriales.
  - Cuadros de utilización de las Rocas Industriales por provincias.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA  
c/ Ríos Rosas, 23. Madrid - 3

SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA  
c/ Claudio Coello, 44. Madrid - 1

## OTRAS PUBLICACIONES CARTOGRAFICAS

### Mapas Geológicos Varios

	Ptas.
— Geológico de la Isla de Fuerteventura - Escala 1:100.000	300
— Geológico de la Isla de Gran Canaria - Escala 1:100.000	300
— Geológico de la Isla de Lanzarote - Escala 1:100.000	300
— Geológico de la Isla de Tenerife - Escala 1:100.000	300
— Geológico de la provincia de Gulpúcoa - Escala 1:100.000	300
— Geológico de la Cuenca del Duero - Escala 1:250.000	300
— Petrográfico y estructural de Galicia - Escala 1:400.000	300
— Litológico de España - Escala 1:500.000	700
— de Síntesis y Sistemas Acuíferos - Escala 1:166.000	100
— Sismotécnico de la Península Ibérica - Escala 1:2.500.000	100

### Mapa Geológico Nacional - Escala 1:400.000

Consta de una hoja y memoria descriptiva. La edición completa se compone de 64 hojas, en existencia las siguientes:

Hoja n.º	Ejemplar: 200 ptas.
1/2. La Coruña.	
4. Costa de Santander y Vizcaya.	
9/10. Pontevedra, Lugo y Orense.	
11. León.	
12. Vizcaya y Burgos.	
14. Pirineo Leridano y Oseense.	
17/18. Orense, Zamora y Norte de Portugal.	
52. Granada.	
59. Algeciras.	

### Mapas Geológicos Provinciales - Escala 1:200.000

En existencia los siguientes:

Hoja n.º	Hoja n.º
1. Almería.	7. Madrid.
3. Cáceres.	8. Murcia.
4. Cádiz.	9. Salamanca.
5. La Coruña.	10. Valencia.

### Mapas Geológicos - Escala 1:1.000.000

Ejemplar: 300 ptas.

- Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias (6.ª edición).
- de Reconocimiento Hidrogeológico.
- de Lluvia Útil y Escorrentía
- Sismoestructural de la Península Ibérica, Baleares y Canarias.
- Tectónico de la Península Ibérica y Baleares.
- de Vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos.

### Mapa Metalogenético de España - Escala 1:1.500.000

Ejemplar: 400 ptas.

La colección completa consta de 17 hojas y memorias referidas a las siguientes sustancias:

Hoja n.º	Hoja n.º	Hoja n.º
1. Aluminio.	7. Fluorita.	13. Níquel.
2. Azufre.	8. Fosfatos.	14. Oro.
3. Bismuto.	9. Hierro.	15. Potasa-Sal común.
4. Plomo-Cinc.	10. Hulla.	
5. Cobre.	11. Manganeseo.	16. Titanio.
6. Estaño.	12. Mercurio.	17. Wolframio.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Ríos Rosas, 23 - Teléfono 441 70 67 - Madrid-3

SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA

Claudio Coello, 44 - Teléfono 276 20 01 - Madrid-1

## MAPA DE ORIENTACION AL VERTIDO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

El problema de la contaminación de las aguas subterráneas, requiere fundamentalmente soluciones de prevención, ya que una vez producida, su corrección, aún eliminada la causa productora es difícil, costosa y en ocasiones imposible.

Puesto que prácticamente el 35 por 100 de las necesidades españolas en agua de abastecimiento doméstico son satisfechas por aguas subterráneas, la protección de éstas frente a la contaminación, es una tarea importante y que ha merecido atención prioritaria por parte del Instituto Geológico y Minero de España, del Ministerio de Industria y Energía.

Entre los diversos mecanismos de contaminación de las aguas subterráneas, figura la infiltración en el terreno de los productos de lixiviación procedentes de los vertederos residuos sólidos de origen urbano. Dado que éstos vertederos se ubican con frecuencia cerca de los núcleos de población, y que también los pozos y sondeos de abastecimiento suelen encontrarse a distancias relativamente pequeñas de dicho núcleo, se da un claro caso de proximidad entre la fuente de contaminación y la aplicación útil vulnerable de agua. Se trata de un caso en que la prevención es fundamentalmente, ya que los posibles problemas de contaminación pueden afectar a la salud humana.

En la Ley de desechos y residuos sólidos urbanos de 19 de noviembre de 1975 (B. O. del E. del 21) se considera al Instituto Geológico y Minero de España como el Organismo consultor en lo que respecta a los proyectos de vertederos... «cuando las características del proyecto merezcan especial atención ante la posible contaminación de los recursos del subsuelo.» Para cumplir más eficazmente esta misión, el IGME ha decidido anticiparse a los posibles problemas, emprendido el estudio, en zonas especialmente críticas, de la vulnerabilidad de los mantos acuíferos frente a los agentes contaminantes vertidos en la superficie del terreno o que

se producen e infiltran desde la misma, tales como los lixiviados de las basuras urbanas.

El instrumento que se ha considerado más eficaz para representar de forma fácilmente comprensible la vulnerabilidad de las aguas subterráneas,

ha sido el mapa de orientación al vertido, que, por otra parte, representa un ejemplo de lo que la ciencia geológica e hidrogeológica puede aportar al complejo proceso de ordenación del territorio.

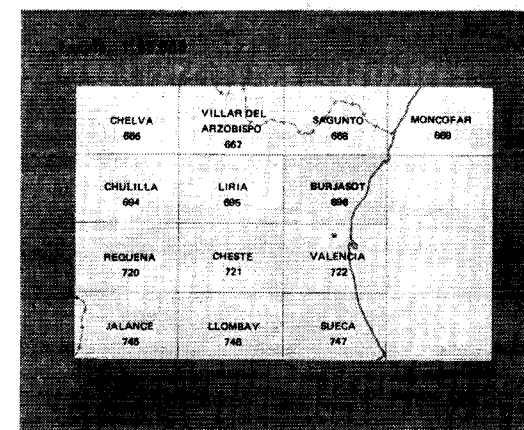
El hecho de que el título del mapa se refiera al vertido de residuos sólidos urbanos, no quiere decir que su utilidad quede restringida a este aspecto. Puesto que en él se pone de manifiesto de vulnerabilidad de los mantos acuíferos frente a la contaminación iniciada en la superficie del terreno, el mapa puede utilizarse también como indicador de los peligros de degradación de la calidad del agua subterránea debida a actividades tales como el vertido de aguas fecales, el empleo excesivo de pesticidas, etc. En el caso de residuos industriales, y dada la amplia gama de composición posible, el mapa deberá utilizarse teniendo en cuenta cada caso particular; los criterios son muchos, más restrictivos en el caso de productos tóxicos o peligrosos.

La primera fase del programa de preparación de estos mapas, a escala 1/50.000, comprende los siguientes.

- Cuenca del Júcar: 24 hojas de la zona costera de Alicante, Valencia y Castellón y zonas de influencia.
- Cuencas del Sur: 6 hojas de la Costa del Sol y zonas de influencia.
- Cuenca del Guadalquivir: 5 hojas de las áreas de influencia de Granada, Sevilla y Huelva.
- Cuenca del Segura: 5 hojas en la zona del Alto Vinalopé y cuencas costeras de Alicante (Costa Blanca).
- Cuenca Alta del Guadiana: 5 hojas en las zonas de influencia de Ciudad Real y pueblo de la Mancha.

### MAPA DE ORIENTACION AL VERTIDO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

BURJASOT HOJA 696



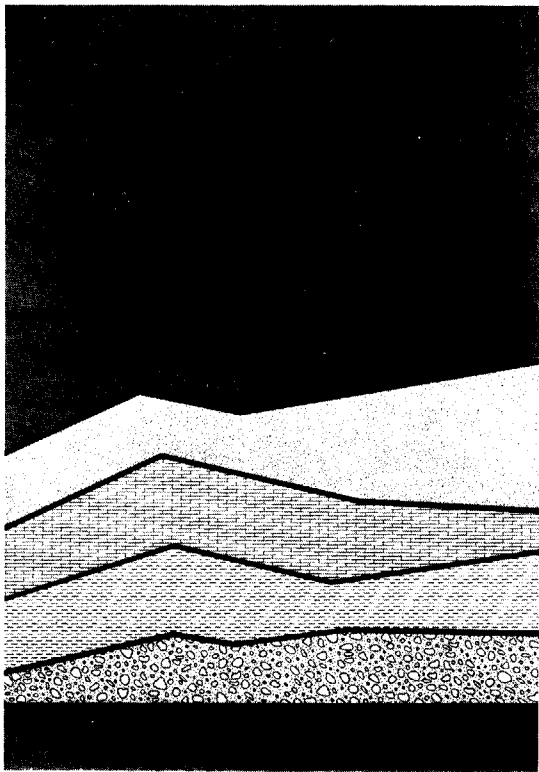
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

c/ Ríos Rosas, 23. Madrid (3)

SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA

c/ Claudio Coello, 44. Madrid (1)



### RESERVA ZONA HUELVA

- 1 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 en las hojas 939: Castillo de las Guardas y 940: Castiblanco de los Arroyos.
- 2 - Estudio Geológico y Minero a 1:50.000 de la hoja 958: Puebla de Guzmán
- 3 - Estudio Geológico y Minero a 1:10.000 en las áreas de Ceballos-Mina del Soldado y Sur de Higuera de la Sierra.
- 4 - Estudio Geológico Minero a 1:20.000 en el área norte de Aznalcollar.
- 5 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 en la hoja 961: Aznalcollar.
- 6 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 en la hoja 982: La Palma del Condado.
- 7 - Estudio Geológico Minero a 1:10.000 en el área de Nerva Mina de Peña de Hierro.
- 8 - Estudio Geológico Minero a 1:50.000 en la hoja 936: Paymogo.
- 9 - Estudio Geológico Minero a 1:10.000 en el área de las minas del Castillo de las Guardas.
- 10 - Investigación geofísica en el área de las minas del Castillo de las Guardas (La Admirable).
- 11 - Estudio Geológico Minero a 1:10.000 en el flanco norte del anticlinal de Puebla de Guzmán.
- 12 - Investigación geofísica en el área Herrerías-Cabexas del Pasto.
- 13 - Investigación geoquímica en las hojas 936: Paymogo, 939: el Castillo de las Guardas, 958: Puebla de Guzmán y 961: Aznalcollar.

Precio de cada ejemplar, 300 pts.

**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

c/ Ríos Rosas, 23. Madrid - 3

**SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA**

c/ Claudio Coello, 44. Madrid - 1

### COSTE DEL AGUA SUBTERRANEA

La amplia labor investigadora del INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA dentro del Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (P.I.A.S.), que se engloba en el Plan Nacional de Minería programado por la Dirección General de Minas del Ministerio de Industria, ha obligado a valorar la importancia económica de las aguas subterráneas en nuestro país. A este respecto, la División de Aguas Subterráneas del I.G.M.E. proyecta la realización de una Cartografía Nacional del Coste del Agua Subterránea, con base en los profundos conocimientos adquiridos en la etapa de Investigación llevada a cabo durante el III Plan de Desarrollo.

El presente trabajo pretende ser una aportación a las bases de partida necesarias para la elaboración de dicha cartografía. En cualquier caso, y ello es motivo de su publicación, hemos creído que la recopilación y tratamiento de los datos que aquí se presentan, pueden ser de utilidad para todos aquellos técnicos relacionados con las aguas subterráneas, tanto a nivel de proyecto como de explotación.

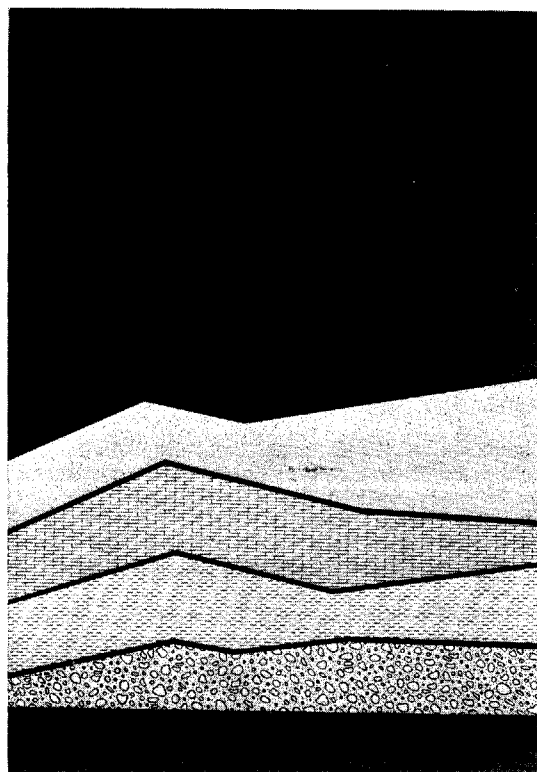
Precio de cada ejemplar, 300 pts.

**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

c/ Ríos Rosas, 23. Madrid - 3

**SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA**

c/ Claudio Coello, 44. Madrid - 1



### Mapa Geotécnico de ordenación territorial y urbana de la subregión de Madrid. Escala 1:100.000

Realizado por la División de Geotecnia del IGME  
Mapas y Memorias publicados:

Hoja n.º	Hoja n.º
8/11 Avila de los Caballeros.	9/13 Toledo.
8/12 Arenas de San Pedro.	10/9 Riaza.
8/13 Talavera de la Reina.	10/10 Torrelaguna.
9/10 Segovia.	10/11 Madrid.
9/11 San Lorenzo del Escorial.	10/12 Getafe.
9/12 Navalcarnero.	10/13 Mora.
	11/9 Sigüenza.
	11/10 Brihuega.
	11/11 Guadalajara.
	11/12 Tarancón.

Precio de cada ejemplar: 300 pts.

**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

c/ Ríos Rosas, 23. Madrid - 3

**SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA**

c/ Claudio Coello, 44. Madrid - 1

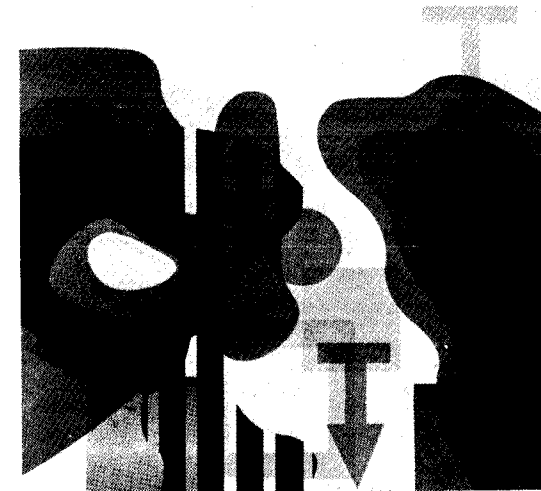
MINISTERIO DE INDUSTRIA  
DIRECCIÓN GENERAL DE MINAS  
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

HOJA 10-11

MAPA GEOTECNICO DE ORDENACION TERRITORIAL Y URBANA DE LA SUBREGION DE MADRID

MADRID

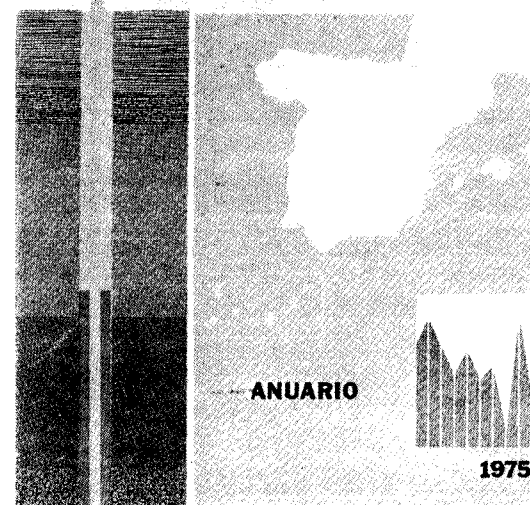
E: 1:100.000



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

### EVOLUCION DE NIVELES PIEZOMETRICOS EN LOS SISTEMAS ACUIFEROS

CUENCA MEDIA Y BAJA DEL JUCAR



### Anuario de la evolución de los niveles piezométricos en los sistemas acuíferos españoles.

Realizado por la División de Aguas Subterráneas del IGME.

- Cuenca del Duero.
- Cuenca del Guadiana.
- Cuenca del Guadalquivir.
- Cuenca del Sur.
- Cuenca del Segura.
- Cuenca alta del Júcar.
- Cuenca media y baja del Júcar.
- Baleares.

Precio de cada ejemplar: 300 pts.

**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

c/ Ríos Rosas, 23. Madrid - 3

**SERVICIO DE PUBLICACIONES DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA**

c/ Claudio Coello, 44. Madrid - 1

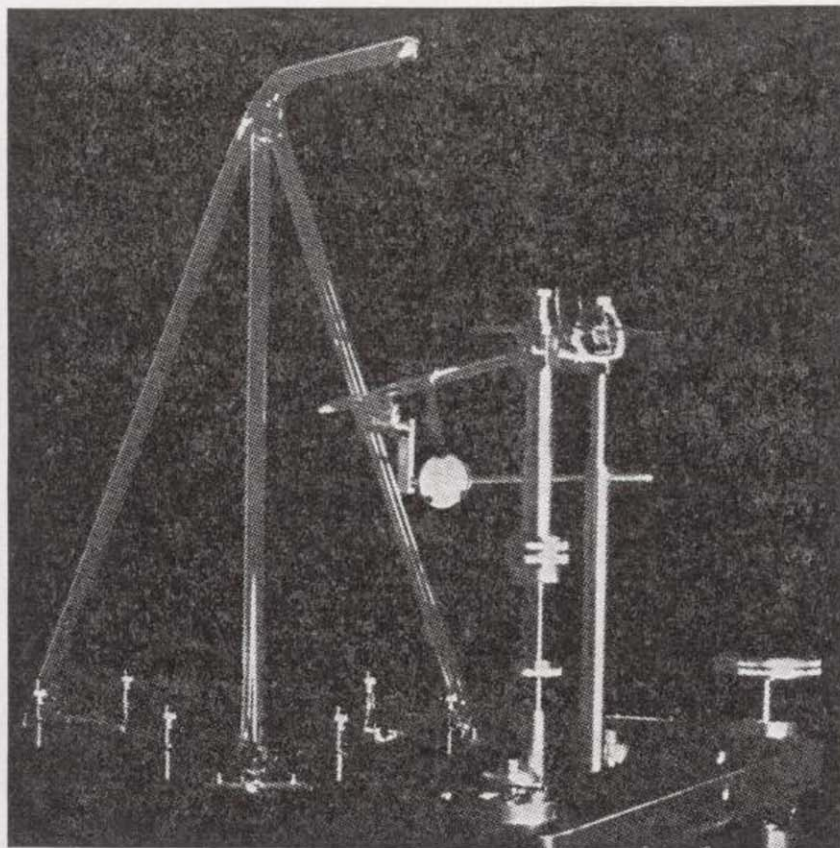


# BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

La publicación más antigua y de mayor difusión del Instituto Geológico y Minero de España. Se inició en el año 1874, continuando su publicación. Actualmente se presenta en fascículos de aparición bimestral que componen al año un tomo.

Es la primera revista española de su especialidad, tratándose en ella temas de Geología, Minería, Aguas Subterráneas, Energía, Geofísica, Geoquímica, Geotecnia, Geonucleónica y Estudio de Minerales y Rocas. Contiene además una parte fija dedica-

da, a Información General, Noticias, Notas Bibliográficas, Información legislativa, etc.



El último tomo publicado es el 83 que corresponde al año 1977 (fascículo I a VII), y comprende 21 trabajos de Geología, 5 de Minería, 4 de Aguas Subterráneas, 8 de Geofísica, 2 de Geotecnia, 2 de Energía y 6 de Estudios de Minerales y Rocas que hace un total de 577 páginas más un total de 180 páginas dedicadas a diversos temas de información.

## Boletín Geológico y Minero

Revista bimestral de geología económica  
industrias extractivas y de su beneficio

## BOLETIN DE SUSCRIPCION

Suscripción anual (6 números)

ESPAÑA e IBEROAMERICA	1.100 ptas.
DEMÁS PAISES	2.000 ptas.

Nombre, Organismo o Empresa .....

Profesión .....

Dirección ..... Teléfono .....

Ciudad (provincia) ..... D. P. ....

País .....

Fecha .....

FIRMA

## FORMA DE PAGO

Contra reembolso.  
Talón nominativo.



*La inversión  
requiere un buen proyecto*



**intecsa**

INTERNACIONAL DE INGENIERIA  
Y ESTUDIOS TECNICOS S. A.





## EN PROSPECCION DE RECURSOS NATURALES

- \* GEOLOGIA
- \* AGUAS SUBTERRANEAS
- \* EXPLORACION MINERA
- \* EXPLORACION PETROLERA
- \* SONDEOS
- \* ROCAS INDUSTRIALES
- \* GEOTERMIA
- \* GEOTECNIA
- \* GEOFISICA
- \* LABORATORIOS

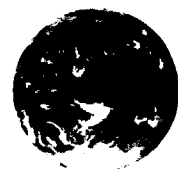


**CGS** Compañía  
General de  
Sondeos, S.A.

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)

ESTUDIOS DE:  
Geología  
Hidrogeología  
Geofísica  
Geotecnia  
Minería  
Análisis de materiales  
Sondeos



Juan Ramón Jiménez, 22, 4<sup>a</sup> dcha.

Teléf. 458 75 58  
Madrid 16





# **Ibergesa**

**Ibérica de Especialidades Geotécnicas, SA**