

ALUMBRAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS

Sondeos hasta 1.500 mm. de diámetro y profundidades de 300 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)

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

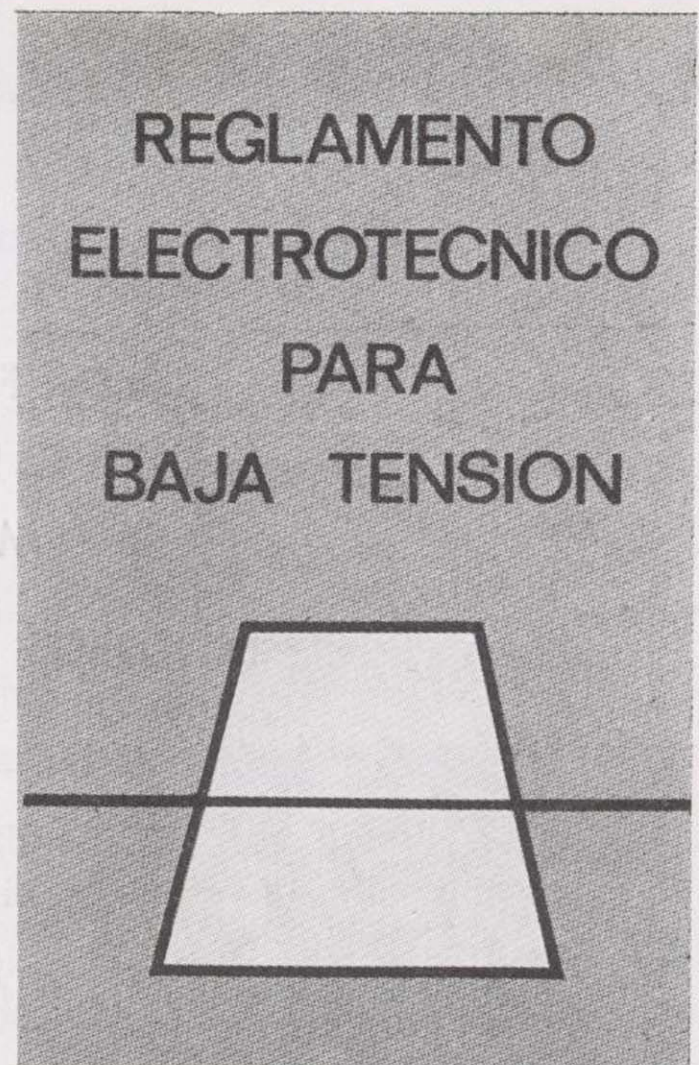
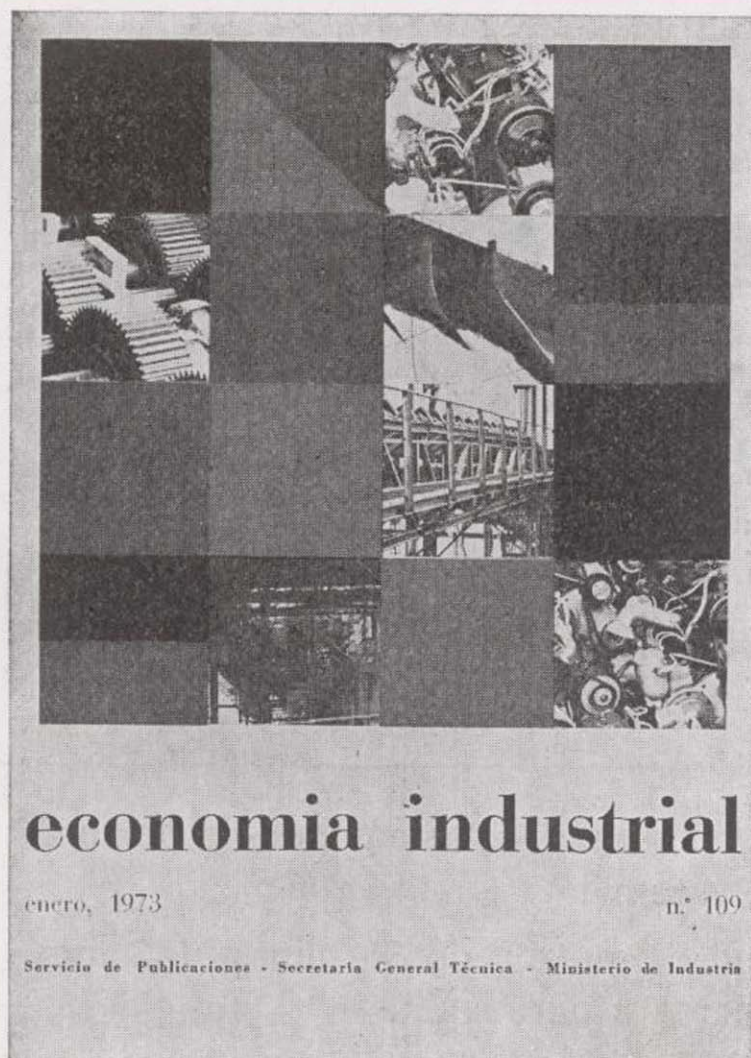
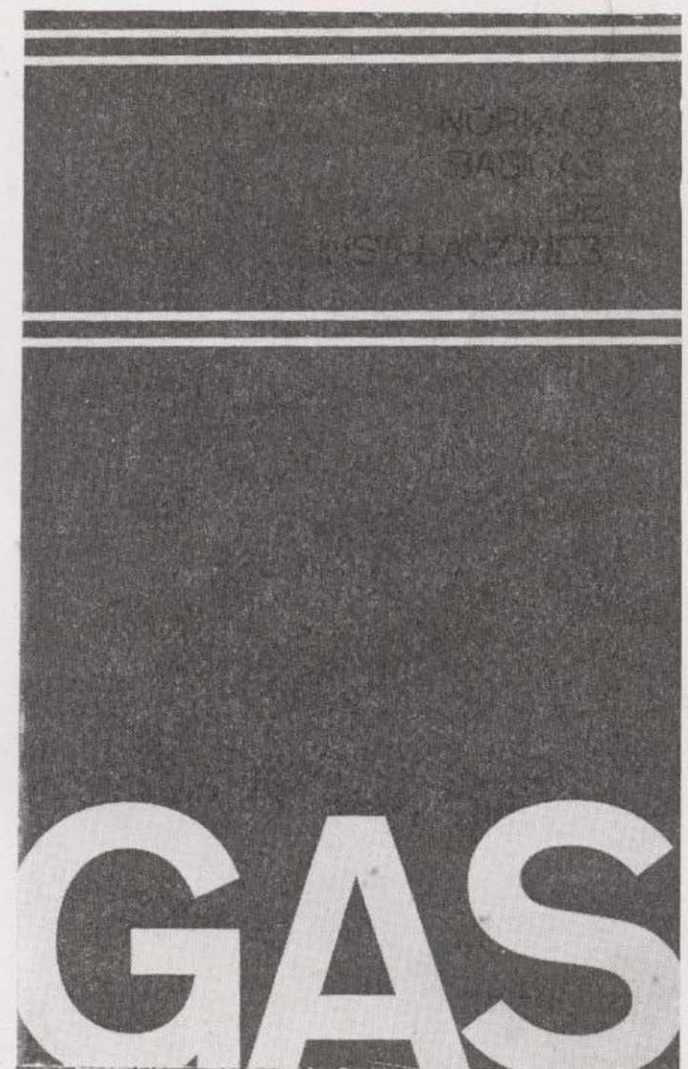
SONDEOS DE RECONOCIMIENTO

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.

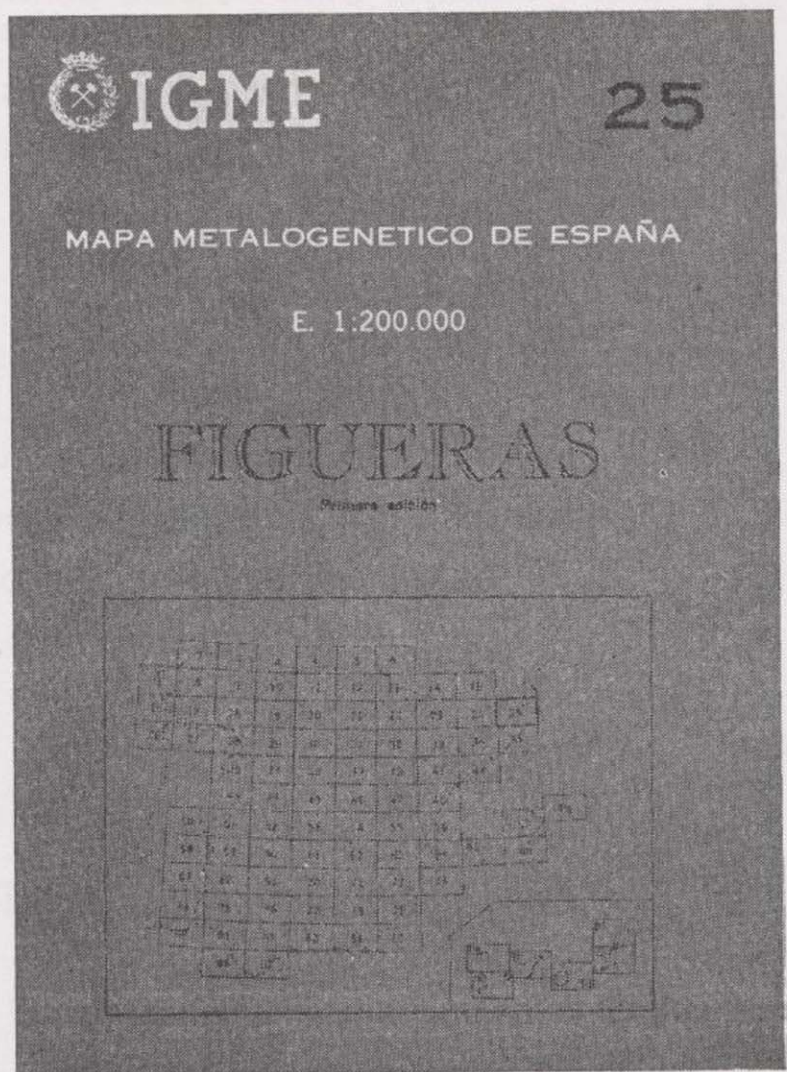
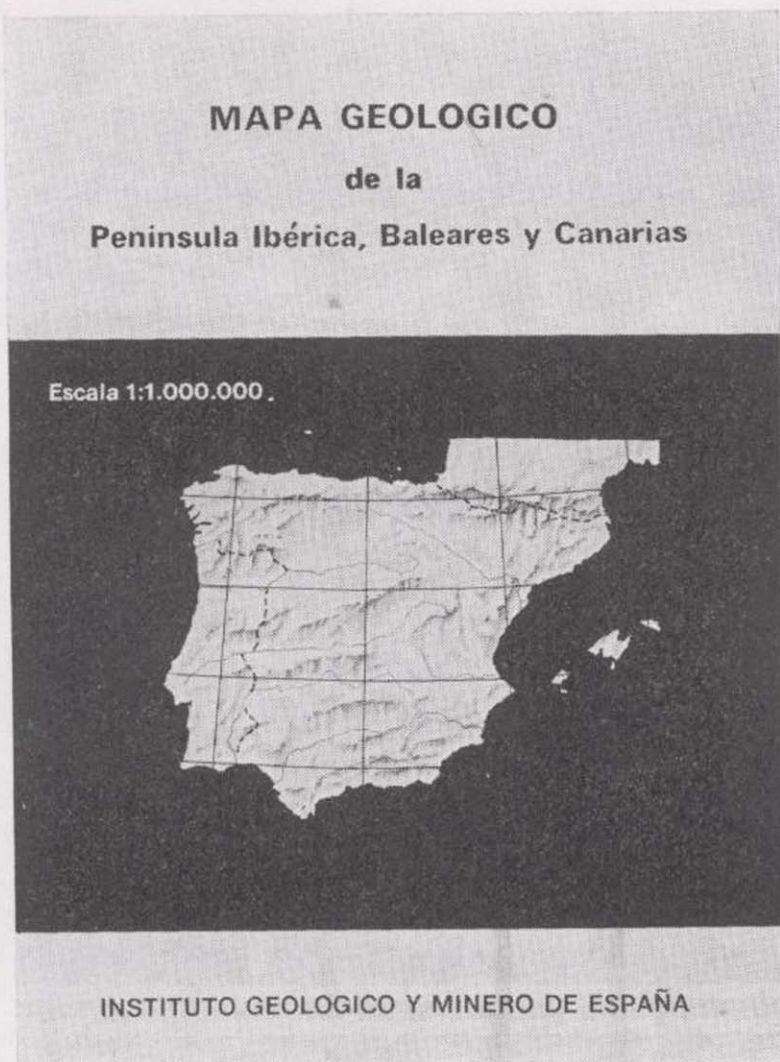
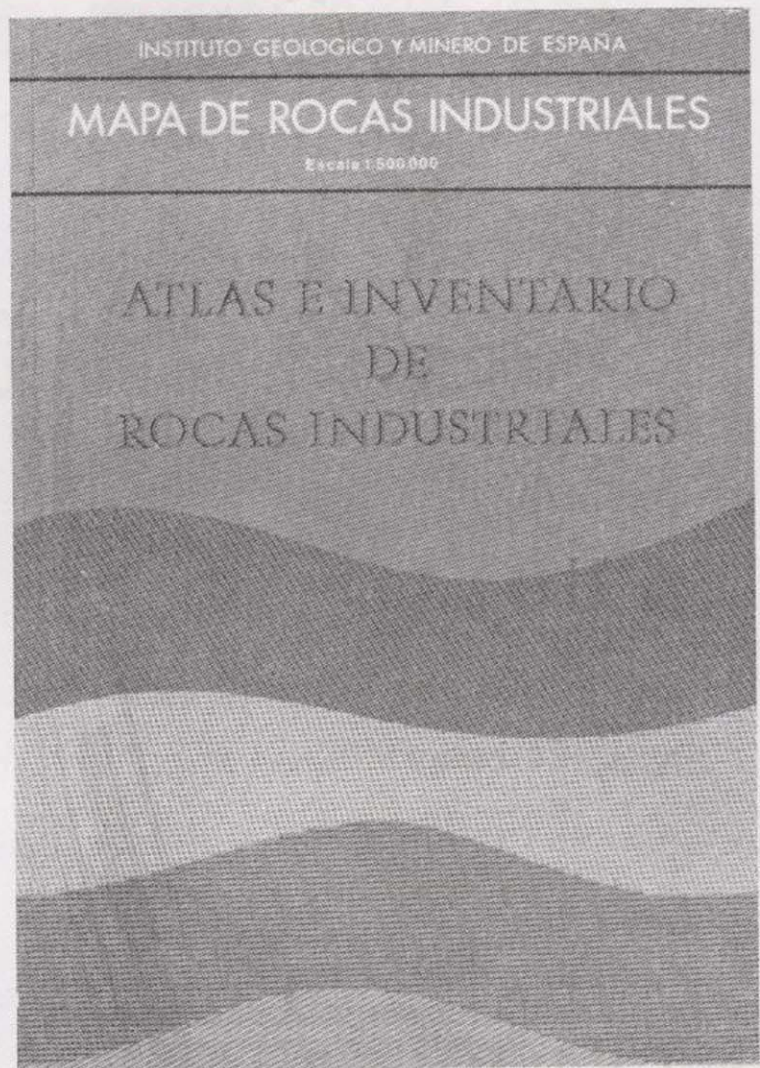
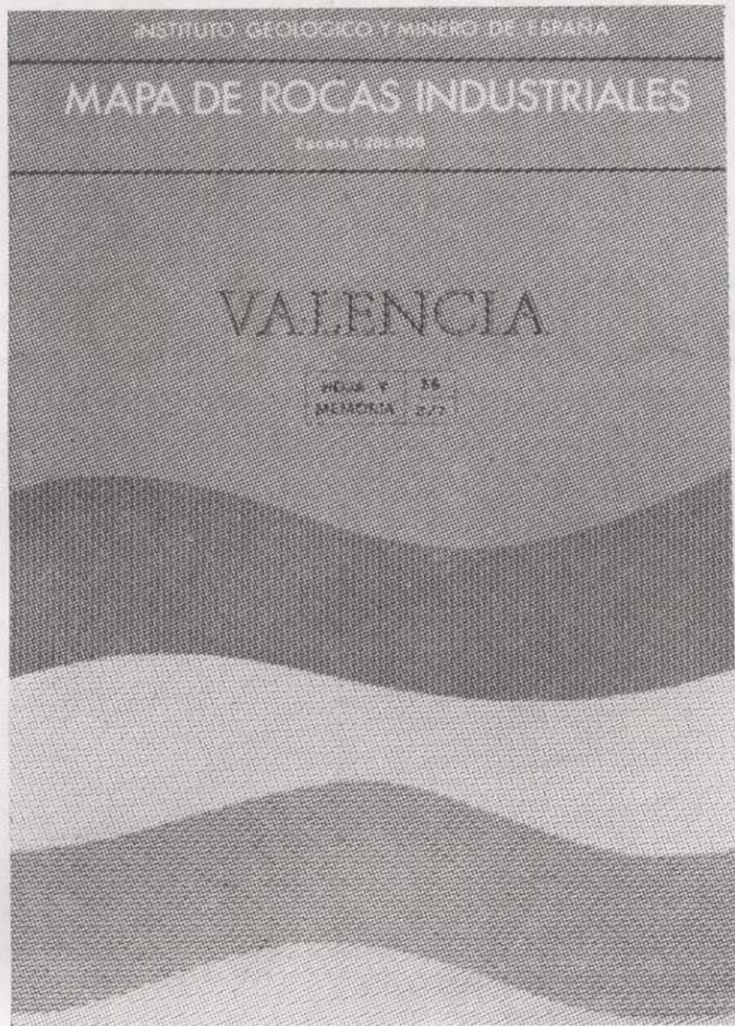
Medidores de inclinación y acimut, tipos Single Shot y Multi Shot.

NUEVAS PUBLICACIONES

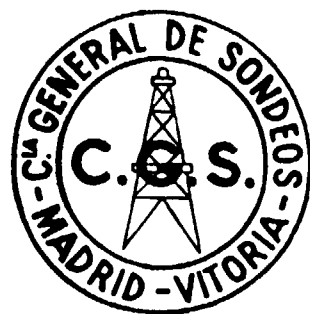


SERVICIO DE PUBLICACIONES - MINISTERIO DE INDUSTRIA
Claudio Coello, 44 - Teléf. 276 20 01 - 276 22 01 - MADRID-1

NUEVAS PUBLICACIONES



SERVICIO DE PUBLICACIONES - MINISTERIO DE INDUSTRIA
Claudio Coello, 44 - Teléf. 276 20 01 - 276 22 01 - MADRID-1



COMPAÑIA GENERAL DE SONDEOS

ESTUDIA:

Geología en general
Estratigrafía
Petrografía
Hidrogeología
Canteras, etc.

INTERPRETA:

Diagrafías eléctricas y radiactivas
Ensayos de bombeo en pozos de agua
Estudios geofísicos

REALIZA:

Sondeos para investigación petrolífera hasta 6.000 m. de profundidad
Sondeos para alumbramiento de aguas subterráneas hasta 750 mm. de diámetro
Sondeos mineros de reconocimiento en general
Sondeos de eliminación de productos residuales en la industria
Sondeos para obras civiles

★ ★ ★

COMPAÑIA GENERAL DE SONDEOS, S. A.
C. G. S.

Portal de Castilla, 66. Vitoria
Teléfono 22 36 04

Padre Xifre, 5. Madrid - 2
Teléfono 415 60 54



CHRISTENSEN DIAMOND PRODUCTS S. A.

AL SERVICIO DE LA INDUSTRIA MINERA

- Coronas y demás útiles de diamante para sondeos y perforaciones.
- Equipos y material de sondeos «Longyear», sondas, bombas y accesorios.
- Equipos de toma de testigos sistema «Wire Line», de «Longyear».
- Triconos y demás útiles de sondeo «Smith», triconos de aire para grandes voladuras.
- Útiles para perforación a percusión «Hard Metals», bocas de acoplamiento cónicos y roscadas, bocas para martillos de fondo, etc.
- Toda clase de equipos y materiales para sondeos y perforaciones.
- Sondas industriales para tomas de probetas. Cortadoras de juntas en pavimentos. Discos de diamante, etc.

DIRECCION COMERCIAL:

ALBERTO ALCOCER, 5, 3.º-C

Telg. "CHRISTENSA"

MADRID-16. Tel. 250 34 04

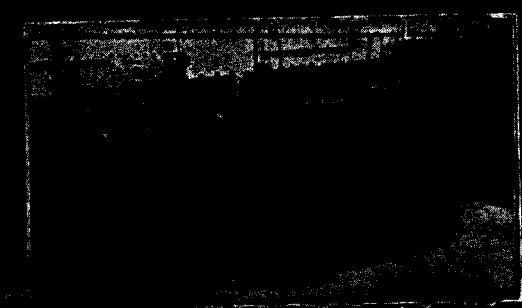
LEGISLACION INDUSTRIAL

III TOMO

2^a
edición

minería	aguas mineromedicinales
aguas subterráneas	PEDIDOS: Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria Claudio Coello, 44 Tels. 276 20 01-276 22 01 MADRID-1

APARATURA AUTOMÁTICAMENTE OPERANTE PARA
EXPLOSIVOS

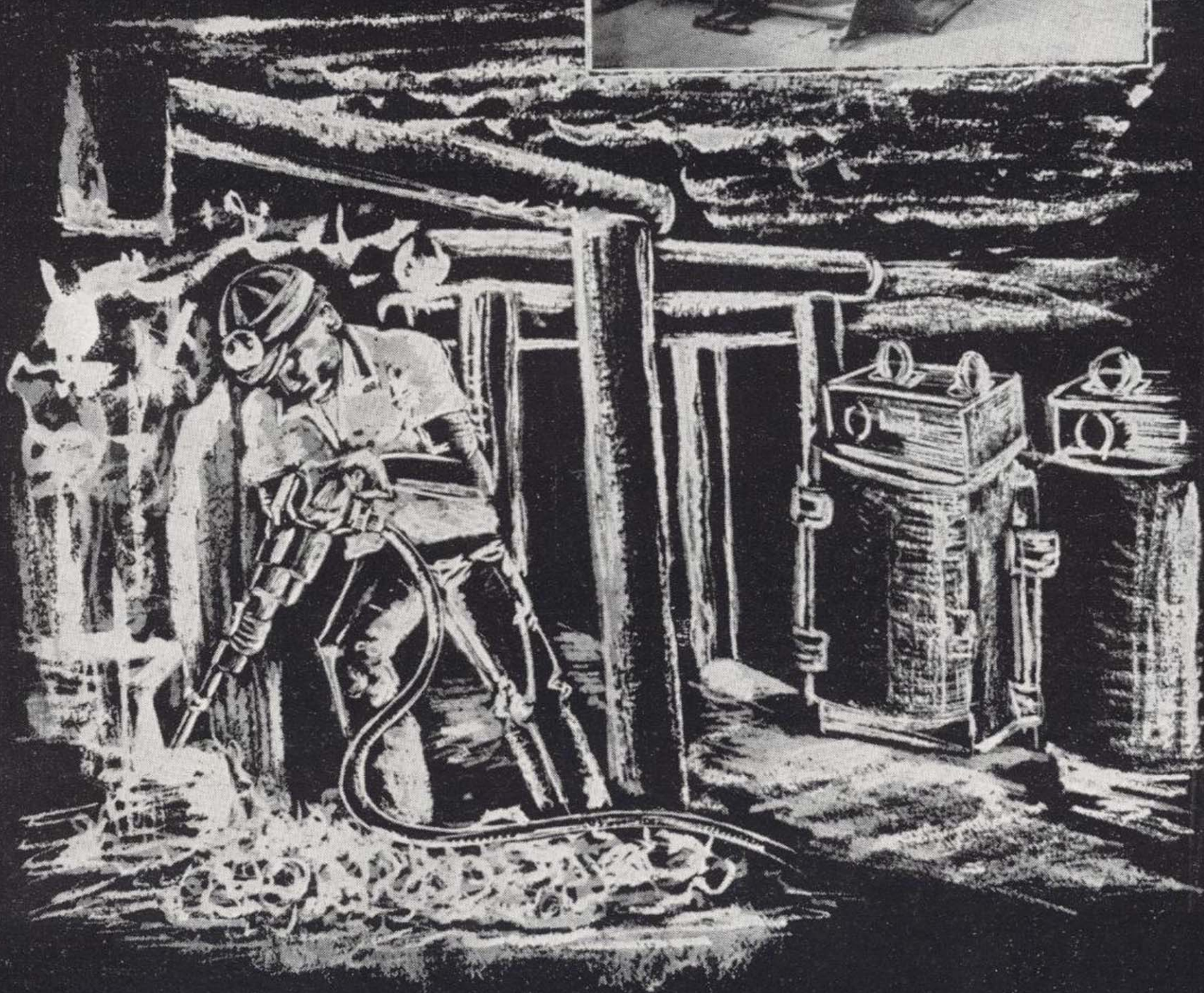
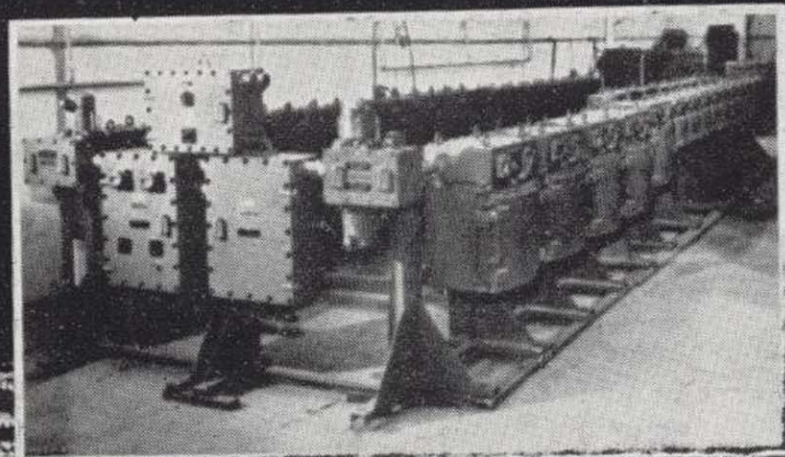


APARATOS DIVERSOS DE
SEGURIDAD
SEÑALIZACIÓN
ALUMBRADO
DISTRIBUCION Y MANDO
MATERIAL DE CONEXION
BELDAS MEDIA TENSION
CONTACTORES
TRANSFORMADORES
PORTACIRCUITOS



ISODEL SPRECHER, S. A.
Madrid - Mendez Alvaro.62 Apartado 7.087

APARAMENTA ANTIDEFAGRANTE PARA AMBIENTES EXPLOSIVOS



APARATOS DIVERSOS DE
SEGURIDAD
SEÑALIZACION
ALUMBRADO
DISTRIBUCION Y MANDO
MATERIAL DE CONEXION
CELDAS MEDIA TENSION
CONTACTORES
TRANSFORMADORES
CORTACIRCUITOS

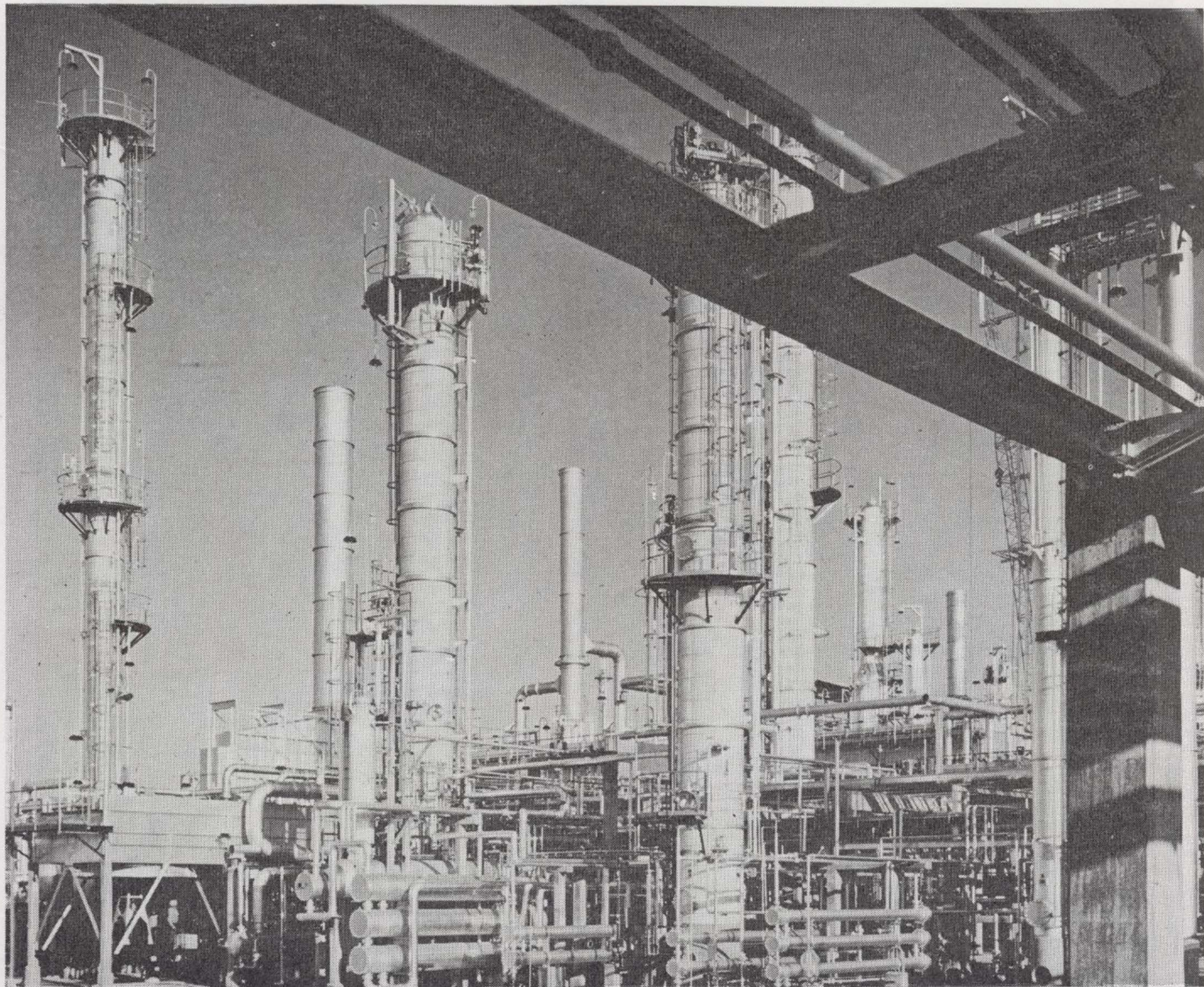


ISODEL SPRECHER, S. A.
Madrid - Méndez Alvaro, 62 Apartado 7.087

E.R.T. presente en los grandes sectores industriales

El grupo de empresas ERT, contribuye al desarrollo español con su participación activa en los siguientes sectores industriales: Productos Químicos, Petróleo y Petroquímica, Plásticos, Fertilizantes, Explosivos, Minería, Metalurgia no férrea y Promociones Inmobiliarias.

Su capacidad investigadora, sus proyectos actuales, sus recursos humanos, técnicos y financieros, mantienen en constante crecimiento sus activos, su solidez y rentabilidad.

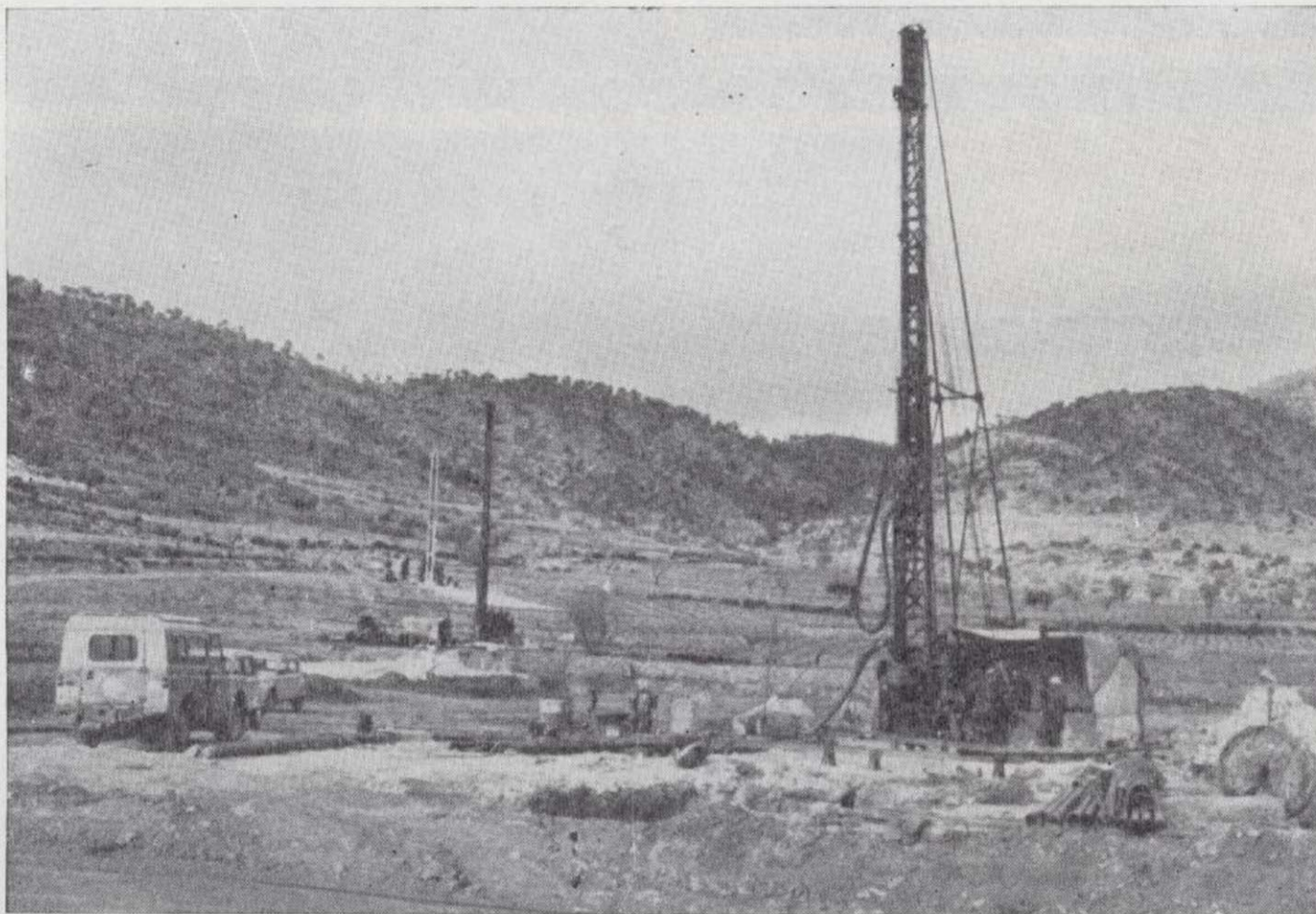


Refinería de Petróleo de La Rábida (Huelva)



UNION
EXPLOSIVOS RIO TINTO, S.A.
Primera empresa química de España

SONDEOS RODES



Sondeos para alumbramientos de aguas.

Estudios hidrogeológicos.

Acidificaciones y cimentaciones de sondeos.

Equipos de perforaciones a percusión y rotación para profundidades hasta 1.400 m.

★ ★ ★

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

★ ★ ★

ERNESTO RODES MARTI

Avda. José Antonio, 21 - Apartado 130 - Teléfono 359

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

economía industrial

Revista mensual, editada por el Servicio de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Industria

- *llega a todos los industriales españoles*
- *interesa a todos los industriales españoles*

Si tiene algo que decir a los industriales españoles, dígalo a través de las páginas de

economía industrial

Servicio de Publicaciones: Claudio Coello, 44 - Madrid (1)
Teléfs. 2 76 20 01 - 2 76 22 01

**TERRATEST
SU
AUXILIAR
EN LA
INVESTI-
GACION
MINERA**



TERRATEST, S. A.

Estudios Geológicos y Geofísicos. - Métodos magnéticos, electromagnéticos, eléctricos, I. P. (Polarización Inducida), gravimétricos y radiométricos. Métodos de refracción y reflexión sísmica.

Perforación y Sondeos de Exploración. - Perforación y sondeos con extracción de testigos y muestras de suelo.

Estudios y Control de Perforación de Sondeo. - Mediciones de inclinación y desviación, y orientación de testigos, estudios magnéticos.

Servicio de Alumbramiento y Captación de Agua. - Prospección de agua del subsuelo, perforación de pozos e instalaciones de bombas.

Perforación de Producción. - Perforación de orificios para barrenos en minas y canteras.

Servicios a la Industria de la Construcción. - Estudios sísmicos, perforación de investigación, cimentación, consolidación del subsuelo y estabilización. También muchos otros servicios como muestras del suelo, tamizado de rocas, cortes y aserrado de materiales de construcción, etc.

Desde la investigación hasta la valoración, TERRATEST, S. A., cubre todo el suelo.

TERRATEST, S. A. Avda. José Antonio, 70 - Teléfono 248 68 00 - Madrid - 13

TERRATEST
SU
AUXILIAR
EN LA
INVESTI-
GACION
MINERA



TERRATEST, S. A.

Estudios Geológicos y Geofísicos. - Métodos magnéticos, electromagnéticos, eléctricos, I. P. (Polarización Inducida), gravimétricos y radiométricos. Métodos de refracción y reflexión sísmica.

Perforación y Sondeos de Exploración. - Perforación y sondeos con extracción de testigos y muestras de suelo.

Estudios y Control de Perforación de Sondeo. - Mediciones de inclinación y desviación, y orientación de testigos, estudios magnéticos.

Servicio de Alumbramiento y Captación de Agua. - Prospección de agua del subsuelo, perforación de pozos e instalaciones de bombas.

Perforación de Producción. - Perforación de orificios para barrenos en minas y canteras.

Servicios a la Industria de la Construcción. - Estudios sísmicos, perforación de investigación, cimentación, consolidación del subsuelo y estabilización. También muchos otros servicios como muestras del suelo, tamizado de rocas, cortes y aserrado de materiales de construcción, etc.

Desde la investigación hasta la valoración, TERRATEST, S. A., cubre todo el suelo.

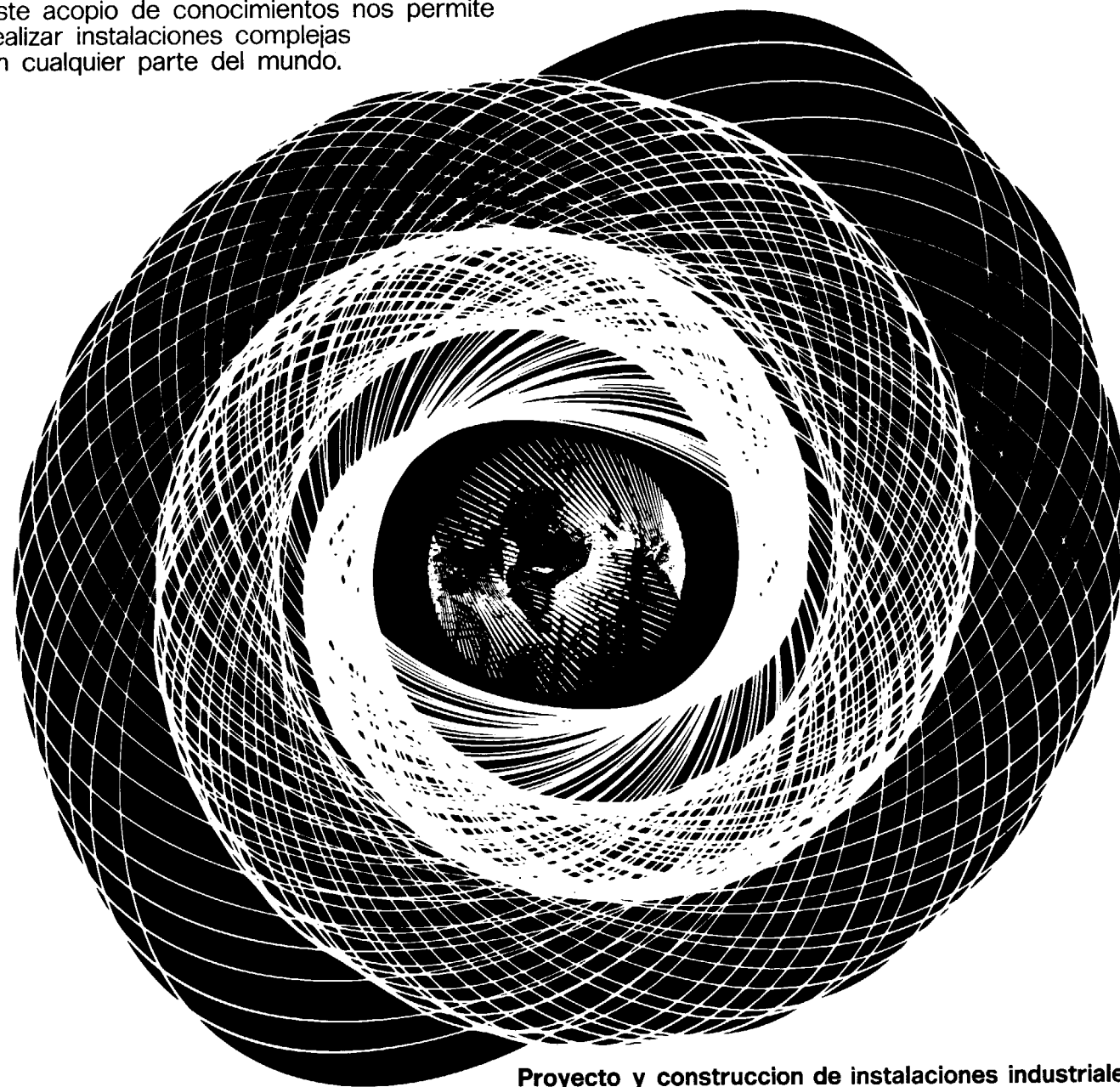
TERRATEST, S. A. Avda. José Antonio, 70 - Teléfono 248 68 00 - Madrid - 13

xperienCIA mundial

es característica
de McKee-Ctip

Desde 1905, en sesenta países, hemos adquirido experiencias valiosas.

Este acopio de conocimientos nos permite realizar instalaciones complejas en cualquier parte del mundo.



Proyecto y construcción de instalaciones industriales

McKEE-CTIP INGENIEROS SA

Avenida Generalísimo 71/A, Madrid 16, Tel. 2702800, Cables Makibermad

Asociada de

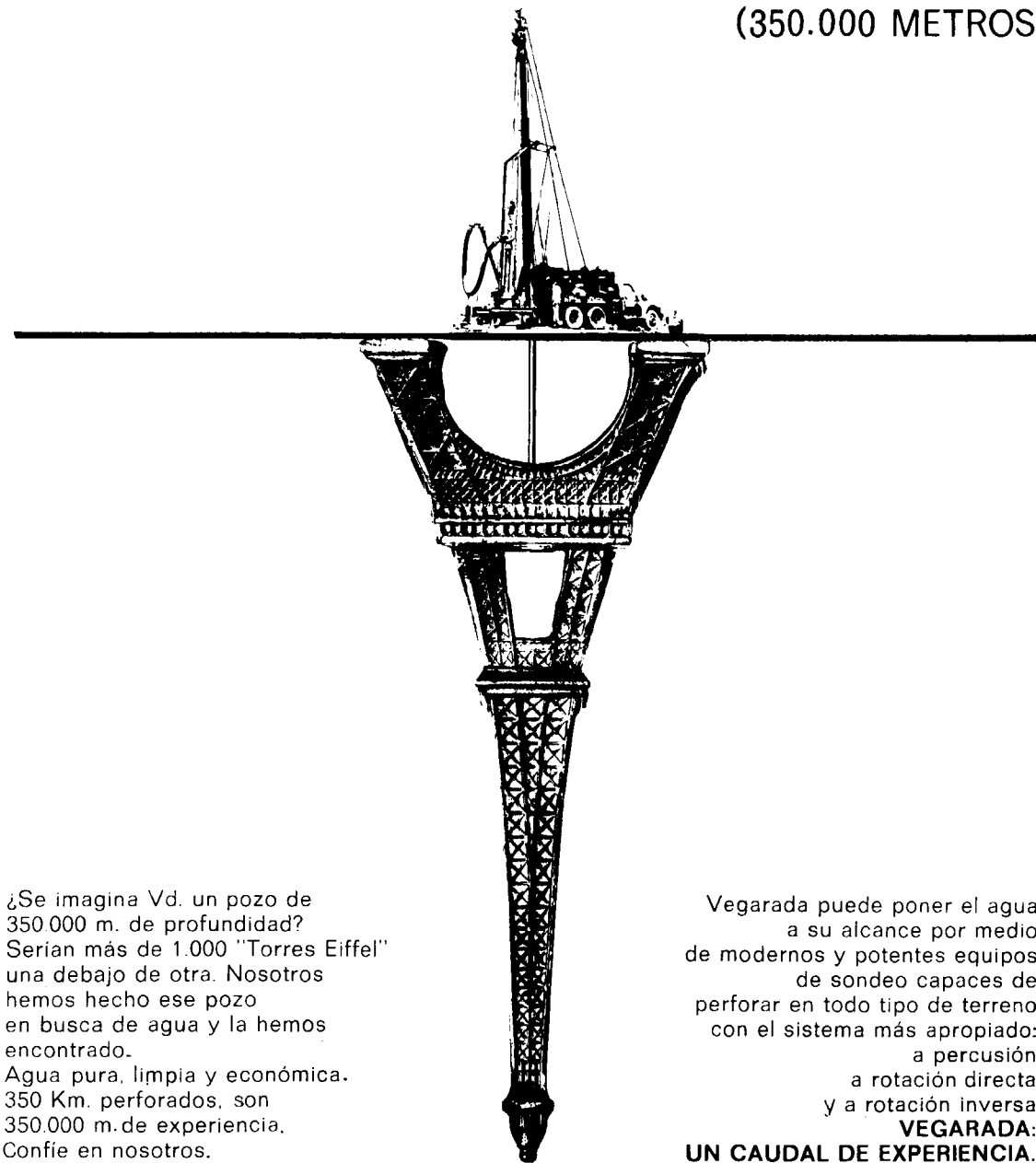
Arthur G. McKee & Company, Cleveland, Ohio, Usa

Ctip, Compagnia Tecnica Industrie Petroli spa, Roma, Italia

Oficinas: MILANO, DÜSSELDORF, PARIS, BRUSELAS, LUCERNA, NUEVA YORK, UNION, PITTSBURGH, CHICAGO, HIBBING, HOUSTON, SAN FRANCISCO, SANTIAGO, BOGOTÁ, TORONTO, MEJICO CITY, SAO PAULO, BUENOS AIRES, MELBOURNE

Mc **CTI**

más de 1.000 veces la altura de la Torre Eiffel (350.000 METROS)



¿Se imagina Vd. un pozo de 350.000 m. de profundidad? Serían más de 1.000 "Torres Eiffel" una debajo de otra. Nosotros hemos hecho ese pozo en busca de agua y la hemos encontrado. Agua pura, limpia y económica. 350 Km. perforados, son 350.000 m. de experiencia. Confíe en nosotros.

Vegarada puede poner el agua a su alcance por medio de modernos y potentes equipos de sondeo capaces de perforar en todo tipo de terreno con el sistema más apropiado: a percusión, a rotación directa, y a rotación inversa. **VEGARADA:** UN CAUDAL DE EXPERIENCIA.



GUZMAN EL BUENO, 133 «PARQUE DE LAS NACIONES» - MADRID-3 - TEL. 253 42 00

Tomo 84

Fascículo VI

Noviembre-Diciembre 1973

Boletín Geológico y Minero

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

SUMARIO

Geología	E. MARTÍNEZ GARCÍA y J. NICOLAU: Los terrenos infraordovícicos de la antifoma de Martinamor (Salamanca) ...	1
	L. LINARES GIRELIA y T. RODRÍGUEZ ESTRELLA: Observaciones sobre la Geología del Sector Alcaraz-Robledo (zona Prebética, provincia de Albacete) ...	13
	R. CAPOTE: Estudio geoestructural de los afloramientos metamórficos del norte de la provincia de Avila ...	20
	A. MALDONADO, O. RIBA y R. SOLÉ: Programa de computador para el cálculo granulométrico por medio del análisis con el hidrómetro ...	32
Minería	M. J. AGUILAR, V. CRESPO y J. L. REYES (I Parte. Geología y cartografía). M. J. AGUILAR, A. APARICIO, J. M. FÚSTER, M. MUÑOZ y J. SAGREDO (II Parte. Petrografía y Petrogénesis): Investigación del níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis	41
	A. SERENO GIL: Exploración de las posibilidades niquelíferas en los macizos ultrabásicos de la provincia de Málaga	67
Geoquímica	A. ERASO ROMERO: Análisis de los mecanismos físico-químicos que condicionan la modificación de las rocas de la corteza terrestre por la acción de las aguas meteóricas ...	81
Estudios de Minerales y Rocas	A. CABALLERO, M. DOUVAL y J. M. MARTÍN POZAS: Estudio mineralógico de la piromorfita de Horcajo (Ciudad Real)	98
Información	Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXIII Campamento para Prácticas de Geología "Benasque 1972".—Noticias.—Mercado de Minerales y Metales.—Información Legislativa.—Notas bibliográficas	110

DIRECCION Y REDACCION

Ríos Rosas, n.º 23 - Madrid-3

Teléfono 234 13 28

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

Granate de esquisto micáceo. Sector oriental de la Sierra de Guadarrama.

Foto: J. López Ruiz.

Depósito legal: M. 3.279.-1958

Nuevas Gráficas, S. A.-Andrés Mellado, 18.-Madrid (15).-XI-1973.

Los terrenos infraordovícicos de la antiforma de Martinamor (Salamanca)

Por E. MARTINEZ GARCIA (*) y J. NICOLAU (**)

ABSTRACT

The Martinamor Antiform (Salamanca), originated by the last important folding phase affecting the area, shows in its inner part the terranes below the ordovician quartzite of the Salamanca Synform. These materials can be separated into two main rock groups: the upper one or Serie de Aldeatejada is composed of pelitic rocks and quartzites with epizonal metamorphism. The lower (Serie de Morille) shows more lithologic variation and can be subdivided into three units. The lower unit or Bernoy fm. is made up of common, epidote-bearing and garnet-bearing quartzites, amphibolites, amphibole gneises, piroxene-amphibole-bearing schists and carbonate rocks with diopside, garnet and epidote in thin beds. The middle unit is composed of feldspathic microconglomerates (Porfiroide de Monterrubio) of mixed sedimentary-volcanic origin since several acid vulcanite intercalations are found. There are also some interbedded schists with biotite and muscovite. The upper unit or Cabezo fm. is or more detrital character with three micaceous quartzite beds up to 30 m thick with interbedded muscovite and biotite schists and some thin amphibole gneises. The total thickness of the Serie de Morille reaches more than 1000 m. This Serie is affected by two superposed metamorphic phases, the first one with staurolite, garnet and pyroxene, and the second one with biotite, amphibole and garnet. Four principal folding phases have occurred in this area, the first one and the second one with isoclinal recumbent folds with an axial angle difference of 70°, and the third and fourth with more inclined axial planes and associated crenulations. It can be concluded that the Serie de Morille is very similar to other series of the Northwestern Iberian Peninsula like the Villalba and Porto Series (Galicia) and the Serie Transmontana (NE Portugal). The intermediate unit of the Serie de Morille (Porfiroide de Monterrubio) can be correlated with the volcanic Ollo de sapo formation of Eastern Galicia and Northwestern Zamora.

RESUMEN

En la antiforma de Martinamor, originada por la última fase importante del plegamiento que afectó a la región, afloran terrenos, por debajo de la cuarcita armoricana de la sinforma de Salamanca, que pueden ser divididos en dos series litológicas fundamentalmente. La superior o Serie de Aldeatejada es pelítica y cuarcítica, con metamorfismo epizonal. La inferior o Serie de Morille, es más variada litológicamente y se encuentra constituida por tres tramos. El tramo inferior o Formación Bernoy comprende cuarcitas comunes, cuarcitas con epidota y cuarcitas con granate, anfibolitas, gneises anfibólicos, gneises piroxénicos con anfíbol y granate, gneises biotíticos, esquistos con estaurolita y granate y rocas carbonatadas con diópsido, granate, epidota, etc., de poco espesor. El tramo intermedio está constituido por el Porfiroide de Monterrubio, microconglomerado feldespático originado por aporte volcánico a rocas detríticas, ya que se encuentran intercaladas en el mismo coladas de rocas volcánicas ácidas. Tiene algunas intercalaciones de esquistos biotíticos y moscovíticos. El tramo superior o Formación Cabezo, por último, está formado por tres barras cuarcíticas micáceas de unos 30 m de espesor con intercalaciones de esquistos biotíticos y moscovíticos y gneises anfibólicos. En conjunto, la Serie de Morille alcanza los 1.000 m de espesor y probablemente los sobrepase. Está afectada por dos metamorfismos superpuestos, de los que el primero llega a dar estaurolita, piroxeno y granate y el segundo biotita, anfíbol y granate. Se observan cuatro plegamien-

(*) Departamento de Geomorfología y Geotectónica. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.

(**) Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca.

tos principales, los dos primeros de pliegues isoclinales tumbados cuyos ejes forman un ángulo de 70° y los dos últimos de pliegues abiertos, planos axiales más inclinados y asociados a crenulación. En conjunto se puede decir que la Serie de Morille muestra un gran parecido con otras series del Noroeste de la Península Ibérica, como las de Villalba, Porto (Galicia Oriental) y Serie Transmontana del NE de Portugal. El tramo intermedio se puede correlacionar con la formación de Ollo de sapo de Galicia Oriental y NW de Zamora.

INTRODUCCIÓN

El "Anticlinal de Martinamor" recibió este nombre por vez primera de Schmidt-Thome (1945) el cual estudió una zona extensa de Salamanca y Cáceres, centrándose principalmente en los granitos y asignando una edad cámbrica a los terrenos representados en esta zona. Otras publicaciones referidas también a la zona de nuestro estudio son las de López de Azcona & Mingarro (1967) y Mingarro & López de Azcona (1970).

LOS TERRENOS INFRAORDOVÍCICOS DE LA ANTIFORMA DE MARTINAMOR

Según se observa en la figura 1, en la provincia de Salamanca, entre Salamanca y la sierra de Gata, afloran terrenos paleozoicos (y anteriores) en varias antiformas y sinformas. Las más destacables son sucesivamente: sinforma de Salamanca, antiforma de Martinamor, sinforma de Las Veguillas, antiforma de Guijuelo, sinforma de Valero (sinclinal de Tamames), antiforma de Miranda del

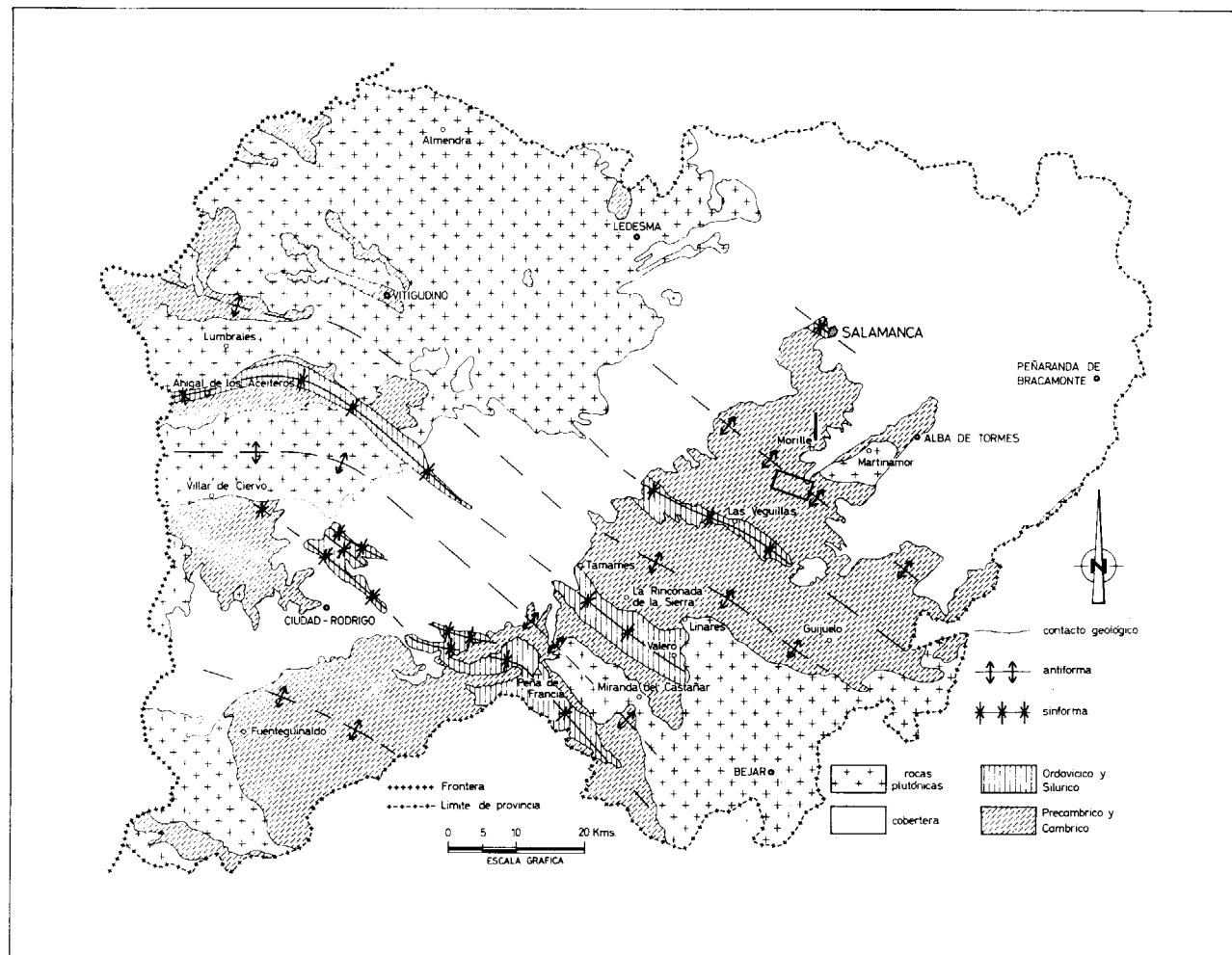


Figura 1

Esquema geológico de la provincia de Salamanca con situación de la columna estratigráfica de la Serie de Morille y de la zona de Monterrubio.

Castañar, sinforma de la Peña de Francia y antiforma de Fuenteguinaldo. Estas son estructuras de la fase IV de deformación aprovechadas a veces para el ascenso de granitos (granito de Martinamor, granito de Miranda del Castañar, granitos de la Sierra de Gata, etc.). La estratigrafía de algunas de ellas ha sido objeto de publicaciones (García de Figuerola, 1971, García de Figuerola y Martínez García, 1972, Mingarro y López de Azcona, 1970, etc.), pero no existen estudios detallados ni correlaciones de unas con otras.

La antiforma de Martinamor, objeto de esta publicación, se encuentra situada entre la sinforma de Salamanca, formada por materiales del Ordovícico-Silúrico y la sinforma de Las Veguillas, en que aparece la cuarcita ordovícica (Mingarro y López de Azcona, 1970). En los terrenos situados entre ambas, hemos distinguido dos series sedimentarias, la superior o Serie de Aldeatejada, fundamentalmente pelítica constituida por esquistos cloríticos con pequeñas intercalaciones cuarcíticas, sobre la que se apoya la cuarcita armoricana de Los Montalvos (Salamanca) y la inferior o Serie de Morille. A la Serie superior no haremos referencia en este trabajo.

LA SERIE DE MORILLE

Ha sido así denominada por aflorar en los alrededores de la localidad de Morille, al SSW de Salamanca (fig. 1). Debido al replegamiento sufrido es difícil calcular los espesores de sus tramos, de forma que se dan aproximadamente. En conjunto se puede estimar que su espesor mínimo es de 900 m, pero probablemente alcance más de 1.200. Aflora la serie en el corte estudiado entre Morille y Cilleros el Hondo, localidad situada al Norte de la primera (fig. 1).

Se pueden distinguir tres tramos en esta Serie, según las rocas predominantes (fig. 2). En el tramo inferior o formación Bernoy, se encuentran los materiales más antiguos, que son esquistos carbonosos, micacitas, cuarcitas, gneises anfibólicos, niveles carbonatados y anfibolitas. Finaliza este tramo con unas cuarcitas de 10-15 m de espesor, a veces conglomeráticas. El espesor total del mismo es de 300 m como mínimo. A continuación, el tramo intermedio o Porfiroide de Monterrubio está constituido por 200 m de microconglomerados feldespáticos o porfiroides, con intercalaciones de esquistos,

cuarcitas y gneises anfibólicos, así como de rocas volcánicas ácidas. Por último, el tramo superior o formación Cabezo, se caracteriza por el predominio de rocas pelíticas y por tres barras cuarcíticas de 30-40 m de espesor que, a veces, han sido confundidas con la cuarcita armoricana (Templado & Pastora, 1946). Entre las dos barras superiores se encuen-

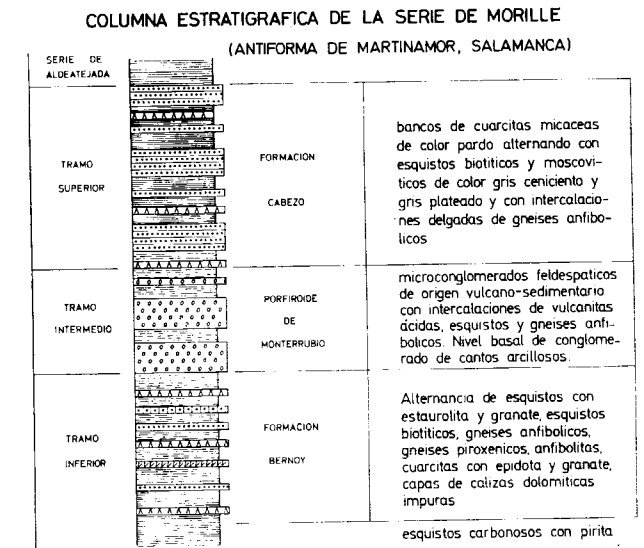


Figura 2

Columna estratigráfica de la Serie de Morille.

tran 200 m de micacitas biotíticas con intercalaciones de gneises anfibólicos. En total, este tramo supera los 400 m de espesor.

Rocas pelíticas.

Las rocas pelíticas que se encuentran en la serie son de dos tipos fundamentales: esquistos carbonosos con pirita y micacitas:

Esquistos carbonosos.

Contienen biotita, moscovita, cuarzo y materia orgánica, además de óxidos de hierro. Son de color negro intenso y con pirita cristalizada en cubos.

Esquistos con estaurolita.

Están constituidos por cuarzo, moscovita, biotita marrón, pequeñas cantidades de plagioclasa, estaurolita y granate. La estaurolita se encuentra siempre transformada parcialmente en sericita y englobada en la esquistosidad principal (fig. 3). De granate solamente se encuentran restos esqueléticos, también anteriores a la esquistosidad.

Micacitas.

Pueden ser biotíticas o moscovíticas, aunque predominan las segundas. La proporción de ambas es variable. En muchos casos parece que la moscovita procede de antigua biotita por la baueritización que presentan. Contiene además de la biotita y moscovita, cuarzo, circón y clorita. A veces se encuentra turmalina abundante.

Rocas cuarcíticas.

El constituyente principal es el cuarzo, pero pueden llegar a tener una notable proporción de bio-



Figura 3

Esquistos con estaurolita. Estaurolita precinemática ($\times 35$).

tita y moscovita. Se encuentran con frecuencia cuarcitas con granate (almandino), epidota y anfíbol. Estos minerales suelen presentarse alargados según una foliación. Como minerales accesorios existen circón, turmalina, esfena, sericita, etc.

Gneises anfibólicos.

Son niveles muy característicos y que sirven para delatar la presencia de la Serie de Morille dondequiera que aflore. Se trata de niveles delgados, con formas complejas debido al replegamiento superpuesto. Los anfíboles pueden estar orientados o sin orientar. Contienen gran cantidad de plagioclasa anortítica (An_{35-57}), cuarzo, anfíbol, epidota, esfena, circón y grandes granates poiquiloblásticos (fig. 4). Son en todo semejantes a los citados por García de Figuerola (1965) y Capdevila (1969), en Lugo (Serie de Villalba) y por Martínez García & Corretge (1970) y Martínez García (1973) en Zamora. Por la cantidad de calcosilicatos que tienen, parecen haber sido originados a partir de margas o dolomías, aunque la abundancia de cuarzo nos indica un importante componente detrítico. En todo caso no pare-

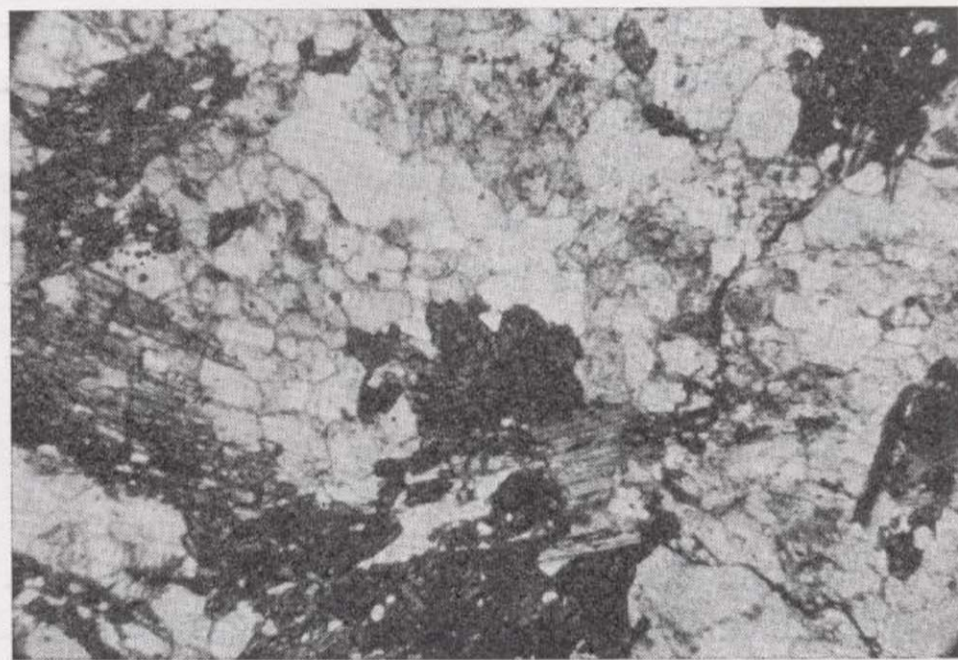


Figura 4

Gneises anfibólicos calcosilicatados ($\times 25$).

ce tratarse de rocas ígneas, tanto por su composición mineralógica como por su presentación en niveles muy delgados y repartidos en una amplia sección de la columna estratigráfica, ya que se encuentran presentes prácticamente en los tres tramos de la Serie de Morille (fig. 2).

Gneises biotíticos.

No son muy frecuentes. Presentan cuarzo, plagioclasa y biotita, con circón y apatito como accesorios.

Gneises piroxénicos.

Son también muy abundantes y similares a los anteriormente descritos, con la única diferencia de



Figura 5

Calizas silíceas con calcosilicatos ($\times 40$).

Figura 6

Porfiroide de Monterrubio. En el centro se observa un cristal de feldespato ($\times 17,5$).

contener diópsido además. Este se encuentra transformado en anfíbol en numerosas ocasiones, lo que muestra el retrometamorfismo sufrido. Si la transformación es total, da lugar a los gneises anfibólicos (fig. 4). Se observa que el piroxeno pertenece a una primera paragénesis junto con el almandino y plagioclasa probablemente más cálcica. A una segunda paragénesis corresponde el anfíbol, la epidota y una plagioclasa más ácida. Es evidente (fig. 11)



Figura 7

Vulcanitas ácidas intercaladas en el Porfiroide de Monterrubio ($\times 22,5$).

que el anfíbol es, en parte al menos, contemporáneo con la deformación segunda, ya que cristaliza según los planos axiales de los pliegues de la segunda fase, mientras que el piroxeno y el granate son doblados por dichos pliegues.

Rocas carbonatadas.

Se presentan en niveles delgados, entre 0,10 y 0,40 m de espesor. En origen debieron ser calizas

o dolomías impuras dada la gran cantidad de calcosilicatos que contienen. Se observa la presencia de cuarzo, calcita, diópsido y granate, así como variable cantidad de epidota (fig. 5). En otras ocasiones eran capas de carbonatos más puros, que dan lugar a mármoles blancos de grano grueso, con capas de anfíbol.

Anfibolitas.

Se encuentran también diversas variedades de anfibolitas en la Serie de Morille tanto asociadas a

ta, esfena en grandes cristales y clorita. En las segundas, el cuarzo es raro y el anfíbol actinolítico. Algunas de ellas presentan aspecto de ortoanfibolitas, tanto por su composición mineralógica, como por la ausencia de cuarzo libre y circón, mientras que otras son paraanfibolitas debidas al metamorfismo regional de rocas dolomíticas impuras.

Microconglomerados feldespáticos o "porfiroides".

Constituyen el tramo medio de la Serie de Morille (fig. 2) y su nivel-guía más característico que sir-

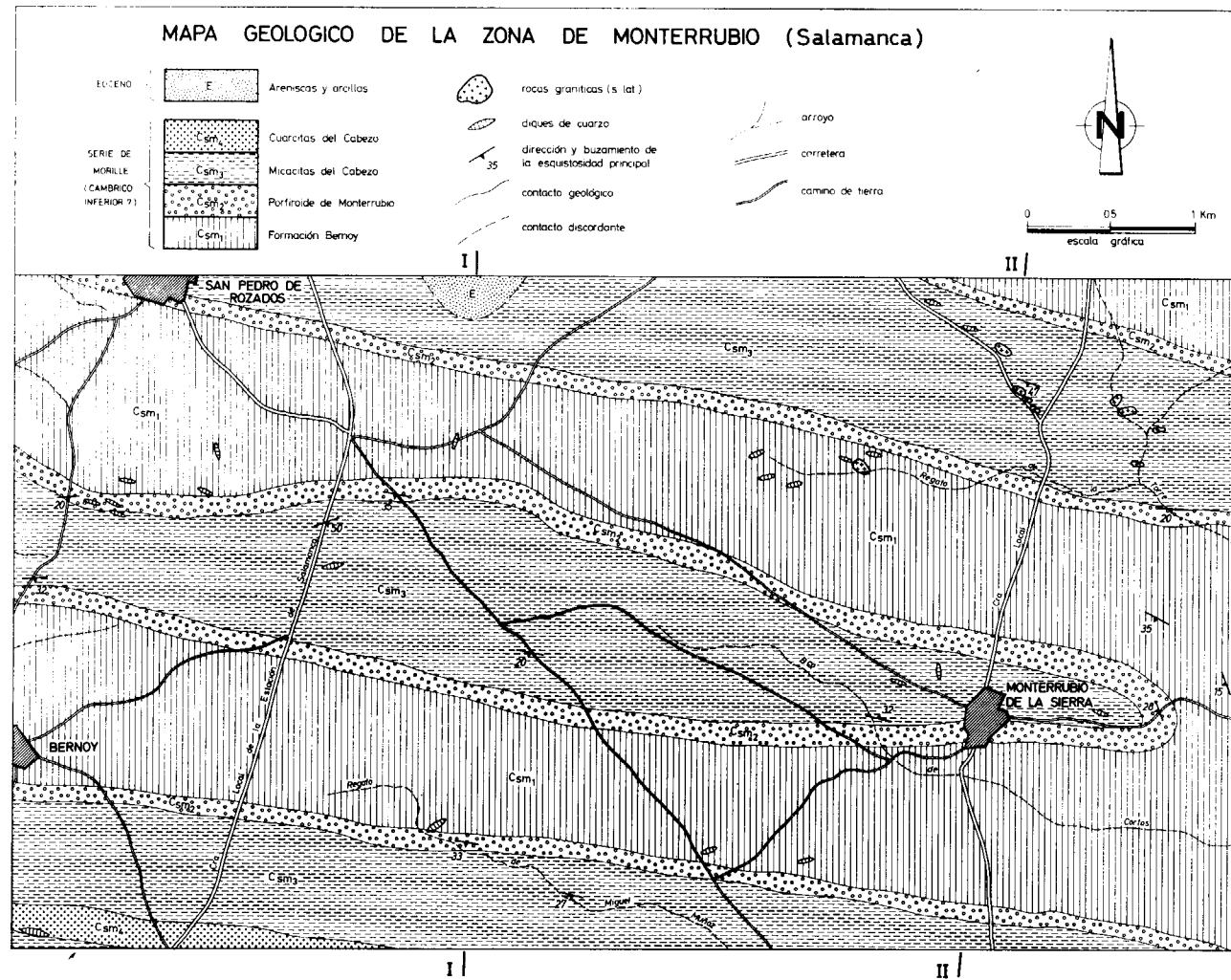


Figura 8

Mapa geológico de la zona de Monterrubio de la Sierra (Salamanca).

las rocas carbonatadas como independientemente de las mismas. Las más frecuentes son las primeras, constituida por hornblenda verde, plagioclasa básica zonada a veces, algo de biotita, cuarzo, calci-

ve de referencia para la cartografía detallada de las zonas en que aflora la Serie de Morille (fig. 8). En la base presenta un nivel cuarcítico con cantos alargados de color negro que también sirve de nivel-

guía. Se trata de cantos arcillosos en su origen que han sido transformados en esquistos posteriormente.

En la zona de Morille, esta roca es esencialmente un microconglomerado, con cantos de cuarzo principalmente (fig. 6) de 0,3 a 2 mm y algunos mayores de feldespato (hasta 5-10 mm), que destacan sobre el fondo de cuarzo y matriz sericitica. Puede contener biotita y moscovita orientadas según una marcada foliación, también acusada por el alar-

lo demuestra la presencia de intercalaciones de rocas andesíticas y riódacíticas (fig. 7). Se observa asimismo la presencia de cuarzos "volcánicos" dentro del porfiroide y que los feldespatos incluidos tienen el mismo aspecto que los de las rocas volcánicas intercaladas.

Hemos denominado *Porfiroide de Monterrubio* a este tramo de la Serie de Morille porque aflora en esta localidad, situada unos 6 kilómetros al S de Morille y otros tantos al E de San Pedro de Roza-

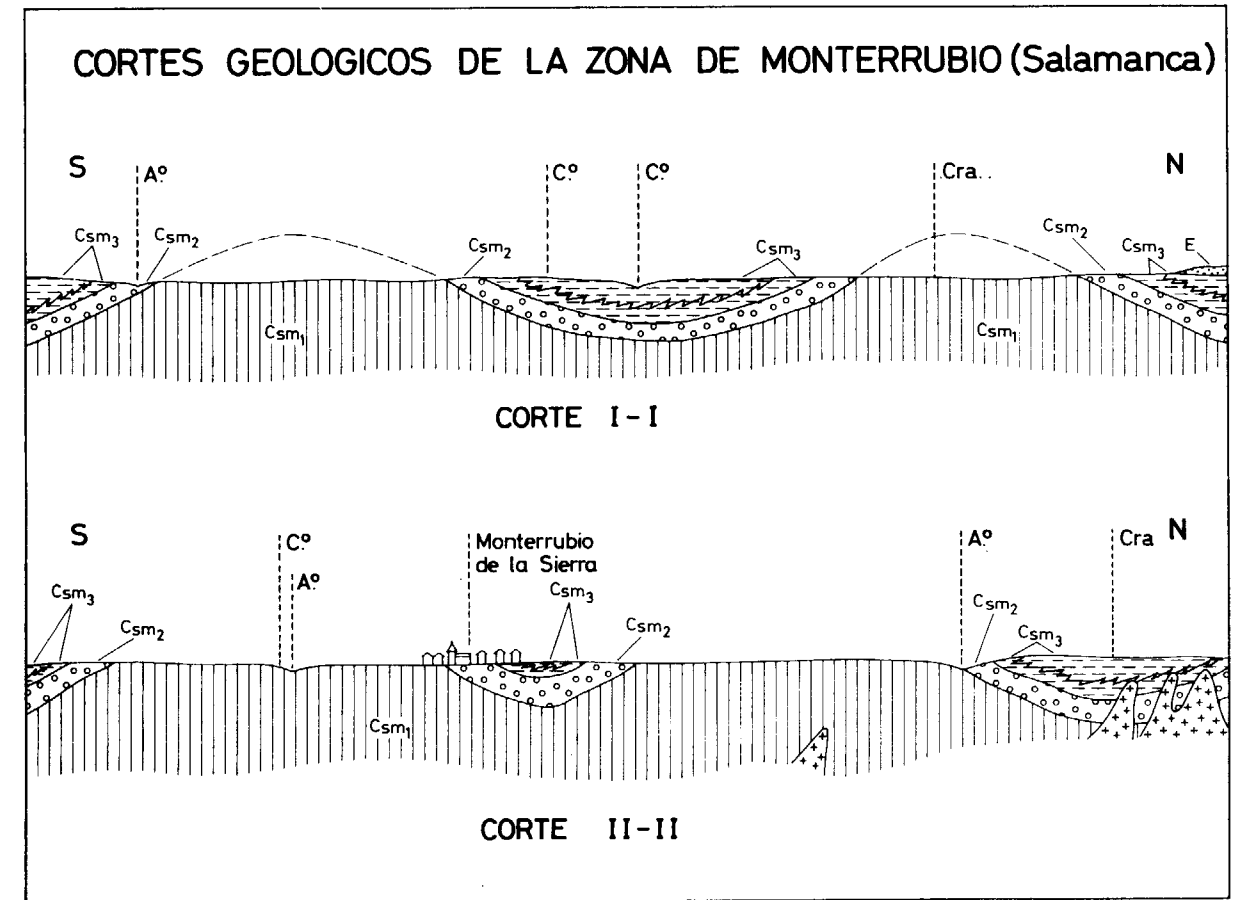


Figura 9

Cortes geológicos de la zona de Monterrubio (Salamanca).

gamiento de los granos de cuarzo. Lateralmente se observa que esta roca pasa a un conglomerado de grandes cantos que se alargan extraordinariamente, desde la forma de piñones (San Pedro de Rozados) hasta la de cigarros puros (Beleña), conservando cristales de feldespato a veces de gran tamaño.

La denominación de "porfiroide" la ha sido asignada por su significación genética, ya que estas rocas tienen una participación volcánica que puede llegar a constituir la totalidad de la misma, como

dos (fig. 8). El espesor total del mismo es de unos 200 m y muestra algunas intercalaciones esquistosas.

Conclusiones sobre la Serie de Morille.

Se trata de una Serie mixta sedimentaria y volcánica de variada constitución litológica que se depositó en una zona no muy alejada de la costa, ya que muchos de sus depósitos son característicos de plataforma. Es posible que tuviera lugar alguna epi-

rogénesis durante su depósito, marcada por la aparición de rocas conglomeráticas y de coladas volcánicas de carácter ácido. Posteriormente, continuó la sedimentación pelítica durante la serie superior, aunque interrumpida de vez en cuando, como lo muestran los frecuentes conglomerados que se intercalan hasta llegar a la cuarcita ordovícica y que se observan en la carretera de Tamames.

ROCAS GRANÍTICAS

Como hemos dicho anteriormente, en la antifirma de Martinamor aparece una importante masa granítica llamada por Schmidt-Thome (1945) granito de Martinamor. Este granito ocupa la zona oriental de dicha antifirma, pero en la occidental se encuentran también numerosos afloramientos de rocas graníticas, todos ellos de características similares al granito de Martinamor, acompañados de aplitas y pegmatitas y de intensa turmalinización y metamorfismo de contacto.

Afloramientos graníticos.

Suelen tener muy poca extensión, entre unos metros cuadrados y unos pocos centenares, afectando sobre todo a los terrenos situados por debajo del porfiroide de Monterrubio con excepción de la zona oriental. Son probablemente apófisis de la gran masa de Martinamor, ya que presentan las mismas características que este respecto a textura y composición mineralógica. Al microscopio se observa que se trata de una roca de grano fino a medio (0,5 a 1,5 mm) constituida esencialmente por plagioclasa (oligoclasa-andesina) (70 por 100), cuarzo (15-20 por 100) y moscovita. A veces presenta pequeños cristales redondeados de granate. Muestran una marcada orientación según planos subverticales de dirección N110E aproximadamente.

Aplitas y pegmatitas.

Las diferenciaciones aplíticas son de grano más fino con mayor contenido en granates y se presentan en diques. Las pegmatitas son abundantes, con turmalina y grandes cristales rosados de andalucita.

EL METAMORFISMO REGIONAL

En una primera aproximación se puede decir que parecen existir dos etapas importantes de metamor-

fismo superpuestas. De la primera se han observado paragénesis:

cuarzo-biotita-estauroлита-granate-plagioclasa
cuarzo-plagioclasa-diópsido I-granate
y de la segunda
cuarzo-biotita-(granate)-moscovita-plagioclasa
cuarzo-plagioclasa-anfibol-epidota-diópsido II
a veces se observan cristales de biotita desorientados que pudieran pertenecer a una tercera etapa o al metamorfismo de contacto.

La relación de estas etapas de metamorfismo con las deformaciones también puede observarse. La primera etapa está ligada a una esquistosidad o foliación metamórfica asociada a pliegues isoclinales de plano axial tumbado y ejes de dirección N80E (figura 10). La segunda a otros pliegues isoclinales y

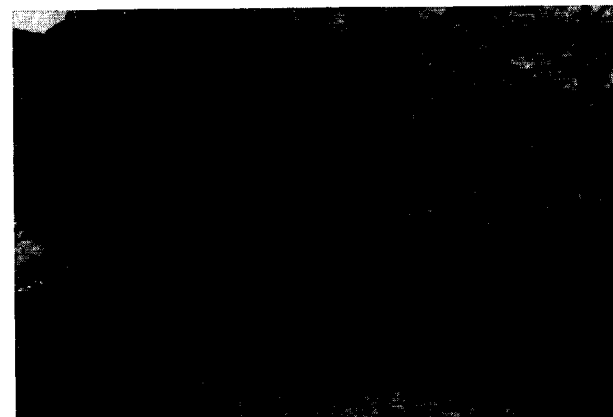


Figura 10

En primer término pliegue de fase II en cuarcita de la Serie de Morille. En la esquina superior izquierda se observa un pliegue de fase I con diferente orientación axial. Arroyo del Cañuelo.

también de plano axial tumbado (figs. 10, 11 y 12) en cuyos planos axiales cristalizan anfibol y diópsido (fig. 11). En este caso se observa que el pliegue doble diópsido I de la fase I.

En resumen, se puede decir que de las dos fases de metamorfismo observadas, la primera es más intensa que la segunda, alcanzando respectivamente la facies anfibólica almandínica y esquistos verdes como mínimo.

TECTÓNICA

Solamente como esquema de trabajo describiremos someramente la tectónica que afecta a la Serie de Morille. Se pueden determinar como mínimo cuatro fases importantes. La fase I da lugar a pliegues

isoclinales tumbados y con eje de dirección N80E a E-W. Estos pliegues solamente se observan en cuarcitas y gneises anfibólicos (fig. 10). La fase II es la que da lugar a la esquistosidad de flujo o foliación metamórfica observable en los afloramientos. También se asocia a pliegues isoclinales tumbados (fig. 12), cuyos ejes llevan una dirección N330E aproximadamente, formando por tanto un ángulo de unos 70° con los ejes de los pliegues de la fase I.

Posteriormente se observan dos fases de pliegues más abiertos y dirección axial NW-SE a E-W. A ellos se asocian dos crenulaciones, una con unos

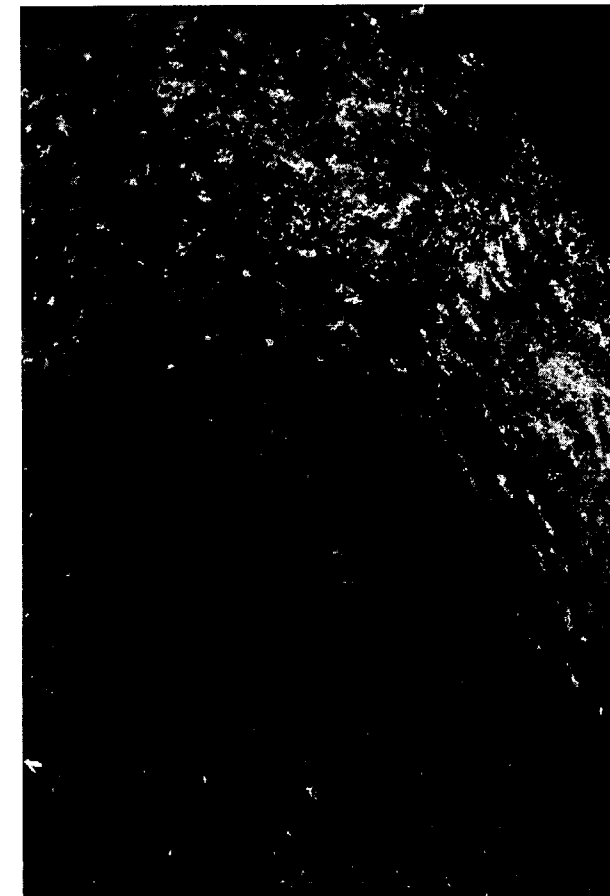


Figura 11

Microfotografía de un pliegue de fase II. Se observa que los piroxenos alargados según la esquistosidad S_1 están doblados por el pliegue, mientras que los cristales de anfibol se disponen paralelamente a su plano axial. Arroyo del Cañuelo. Positivo directo de lámina delgada ($\times 4,5$).

30° de buzamiento y dirección NW-SE y otra de dirección parecida y buzamiento 70-80° hacia el NE también.

También existen dos fases tardías de kink-bands,

de dirección NE-SW subverticales, N60E y 70° de buzamiento hacia el NE, respectivamente.

Por efecto de una de las dos últimas fases (dirección N110E e inclinada 70-80° se produce la orientación de los granitos que hemos descrito anteriormente, lo que indica la contemporaneidad de la intrusión con la fase de crenulación.

Edad de las deformaciones.

No se poseen elementos de juicio objetivos en la zona de la antifirma de Martinamor para datar las deformaciones, ya que los terrenos más modernos reconocidos en ella hasta la actualidad son las cuarcitas del Ordovícico. Por tanto, efectuaremos comparaciones con zonas cercanas que hayan sido objeto de un estudio detallado. Según Martínez García (1971, 1873), en el NW de la provincia de Za-

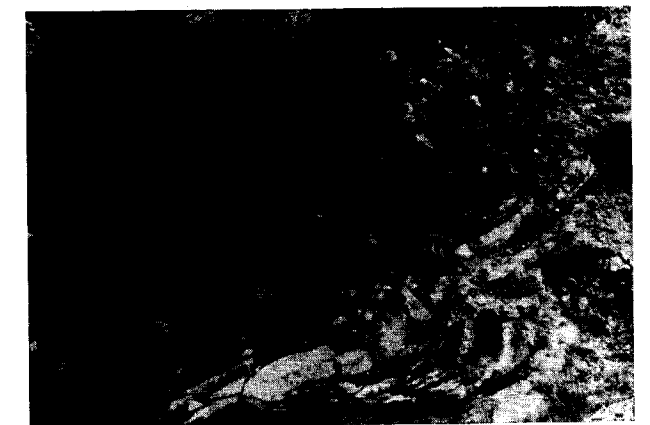


Figura 12

Pliegue de fase II en cuarcitas. Arroyo de la Fuente del Muerto.

mora se encuentran asimismo cuatro deformaciones principales y dos de kink-bands. La fase I es determinada como de edad Wenlock, la II de edad Devónico superior, la III y la IV del Westfaliense y Westfaliense superior o Estefaniense respectivamente. La fase IV origina la orientación de granodioritas moscovíticas asimismo.

Por lo tanto, podemos pensar que este esquema tectónico del NW de Zamora, es válido aún para la antifirma de Martinamor y que las fases de deformación pueden ser equivalentes, aunque no necesariamente de la misma edad, ya que nos encontramos en una zona diferente del geosinclinal.

En zonas cercanas no se disponen de otros datos que los suministrados por García de Figuerola & Martínez García (1972), respecto a la existencia de

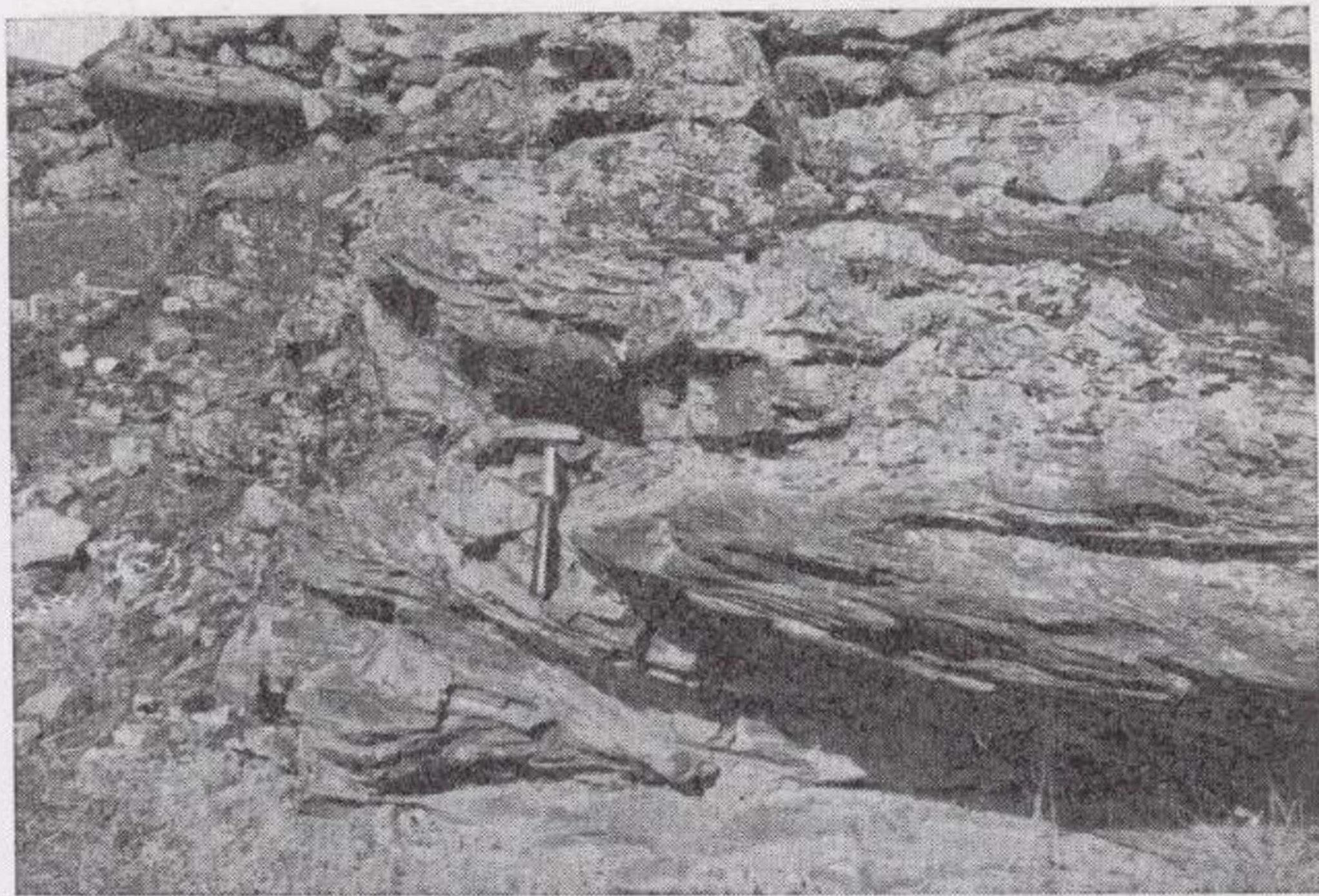


Figura 10

En primer término pliegue de fase II en cuarcita de la Serie de Morille. En la esquina superior izquierda se observa un pliegue de fase I con diferente orientación axial. Arroyo del Cañuelo.



Figura 11

Microfotografía de un pliegue de fase II. Se observa que los piroxenos alargados según la esquistosidad S_1 están doblados por el pliegue, mientras que los cristales de anfíbol se disponen paralelamente a su plano axial. Arroyo del Cañuelo. Positivo directo de lámina delgada ($\times 4,5$).



Figura 12

Pliegue de fase II en cuarcitas. Arroyo de la Fuente del Muerto.

una discordancia angular con importante laguna que abarca el Cámbrico medio y superior en la sinforma de Valero (sinclinal de Tamames). No obstante, allí no parece la deformación sárdica haber tenido otro efecto que la verticalización del sustrato antes del depósito de la cuarcita ordovícica, ya que las rocas por encima y por debajo de la discordancia parecen estar afectadas por las mismas deformaciones. En cuanto a los materiales por encima de la

la existencia de pliegues contemporáneos a la esquistosidad de flujo subverticales, sino de dos etapas de plegamiento con pliegues tumbados, afectados posteriormente por dos fases de crenulación, la última de las cuales (fase IV) ha dado lugar a las grandes estructuras descritas en la figura 1. Estas fases parecen corresponder con las descritas por Martínez García (1971) en el NW de Zamora y están asociadas por lo menos a dos etapas de meta-

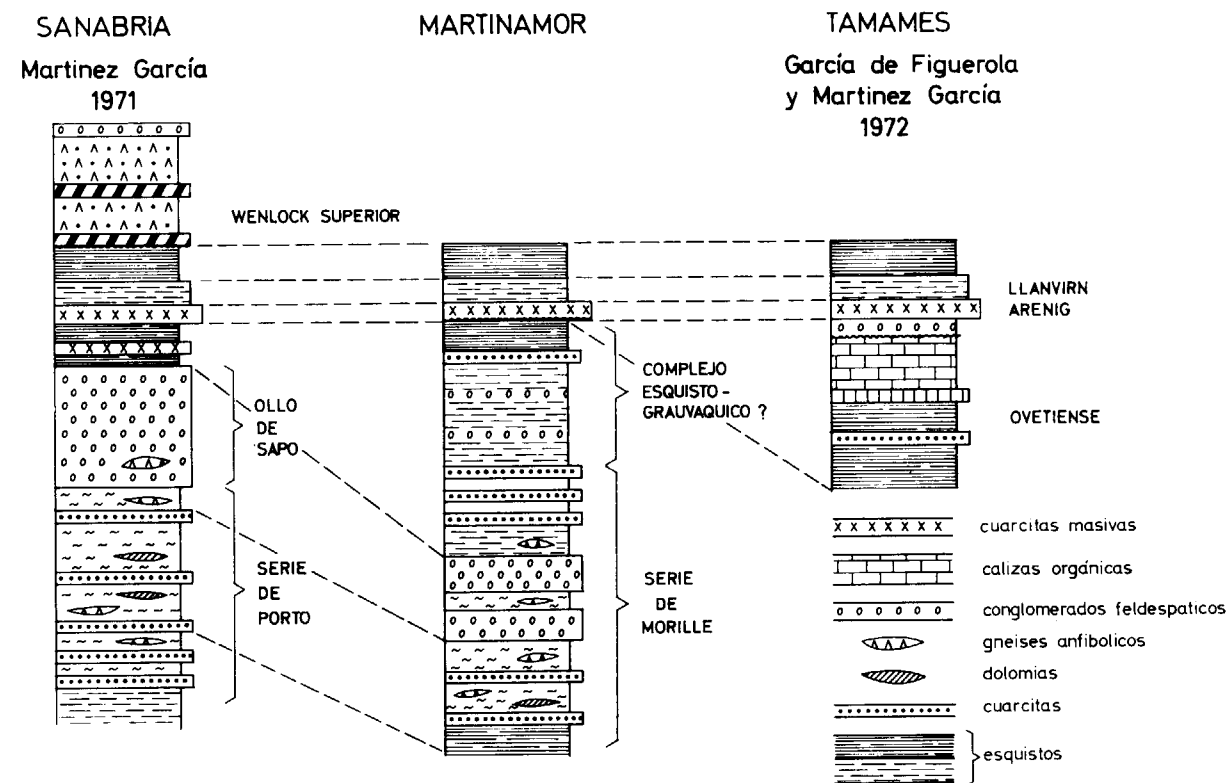


Figura 13

Comparación de las columnas estratigráficas de la Serie de Morille y de las zonas vecinas.

cuarcita del Arenig, sólo disponemos hasta ahora de noticias sobre la existencia de una serie prácticamente continua hasta el Silúrico inferior, ya que ha sido determinada la presencia de Llanvirn (García de Figuerola & Martínez García, 1972) y de otros materiales hasta el Llandovery-Tarannon (Jiménez & Saavedra, 1971). Queda por determinar las relaciones entre el Silúrico superior, que también se encuentra presente, con su sustrato.

Conclusiones sobre la tectónica.

En contra de lo supuesto hasta ahora (Bard *et al* 1972), la zona de Martinamor no se caracteriza por

un metamorfismo intenso que han afectado a todos los materiales de la Serie de Morille.

COMPARACIÓN CON OTRAS ZONAS DEL NOROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

La Serie de Morille muestra un gran parecido con otras series metamórficas descritas en el Noroeste de la Península Ibérica, entre ellas la de Villalba (Capdevila, 1969), la de Porto (Martínez García & Correege, 1970, Martínez García, 1971, 1973) y la Serie Transmontana del NE de Portugal (Ribeiro & Rebelo, 1966, Ribeiro, 1971). Por lo me-

CONCLUSIONES

nos las dos primeras están con toda seguridad por debajo de la cuarcita armoricana y, mientras Capdevila (1969), le asigna una edad Precámbrico superior, Martínez García (1971), le atribuye edad Cámbrico inferior.

En la figura 13 se representan las correlaciones efectuadas con la Serie de Porto y la situación probable de la Serie de Morille con las que afloran en la sinforma de Valero (García de Figuerola & Martínez García, 1972). Si, como parece ser, la Serie de Morille está situada por debajo de las Calizas de Tamames, es seguro que su edad no es superior al Cámbrico inferior bajo (Ovetiense de Sdzuy, 1971).

En cuanto al porfiroide de Monterrubio, su posición hace pensar en una correlación con la formación Olo de sapo de la Sanabria, con lo cual, la Serie de Morille sería equivalente a la Serie de Porto y a la formación de Olo de sapo o por lo menos a la parte inferior de la misma. Puede ser que todo el porfiroide represente solamente una venida lateral de las rocas volcánicas cuyo máximo desarrollo esté representado en la zona en que se depositó el Olo de sapo. Dado que según Martínez García (1973) esta formación ha sido trasladada tectónicamente hacia el NE, es necesario averiguar cuál era la posición relativa de ambas zonas antes del corrimiento para determinar sus relaciones exactas. Sin embargo, se puede llegar a la conclusión de que se trataba de materiales depositados en una misma cuenca geosinclinal, dada la similitud existente.

Con respecto a la "Serie Transmontana" del NE de Portugal descrita por Ribeiro & Rebelo, (1966) y Ribeiro (1971), como de edad silúrica, presenta las mismas características que la Serie de Morille: serie de esquistos y grauvacas, cuarcitas, gneises anfibólicos calcosilicatados de unos 10 cm de espesor, rocas básicas (anfíbóliticas), rocas volcánicas ácidas, niveles de liditas, niveles de calizas, etc. y difieren notablemente por otra parte del Silúrico Douriense, que es equivalente al de San Vitero (Martínez García, 1972), constituido por esquistos rosados y azulados, conglomerados, grauvacas, porfidos riolíticos, calizas con crinoides y liditas con graptolites, donde nunca se encuentran los niveles calcosilicatados.

Por lo tanto, por comparación con el NE de Portugal se deduce que, o bien la "Serie Transmontana" portuguesa no es totalmente de edad silúrica, o habría que considerar silúricas las Series de Villalba, Porto y Morille, con el consiguiente problema de explicar su posición anómala por debajo de la cuarcita ordovícica, su elevado metamorfismo, etc., etc.

1. La Serie de Morille está situada en el núcleo de la antiforma de Martinamor (Salamanca), por debajo de otra serie pelítica (Serie de Aldeatejada) que a su vez se encuentra discordante bajo la cuarcita armoricana de la Sinforma de Salamanca (comp. pers. de García de Figuerola, el cual ha encontrado Cruzianas del Arenig en dichas cuarcitas).

2. Esta serie está constituida por un conjunto de materiales sedimentarios (cuarcitas, rocas pelíticas, rocas carbonatadas, etc.), ígneas (vulcanitas ácidas e intermedias, rocas intrusivas o volcánicas básicas) e intermedias (microconglomerados con aporte volcánico) de carácter de plataforma no lejos de la tierra emergida.

3. Se pueden determinar dos metamorfismos superpuestos en la Serie de Morille, unos de ellos mesozonal superior y el segundo epizonal profundo. El segundo ha sido originado por la fase de plegamiento que dio lugar a la esquistosidad principal.

4. Los materiales de esta serie han sido afectados por cuatro fases principales de plegamiento, las dos primeras de pliegues isoclinales tumbados y las dos últimas de pliegues más abiertos de inclinación variable. Las dos fases de metamorfismo están asociadas a los dos primeros plegamientos.

5. Por comparación con la zona de Sanabria, las fases de plegamiento podrían ser equivalentes a las que allí tienen edades probables, Wenlock superior, Devónico superior, Westfaliense y Westfaliense superior o Estefaniense respectivamente.

6. La Serie de Morille presenta grandes analogías con las descritas en el Noroeste de la Península Ibérica como de Villalba y de Porto en Galicia y Transmontana en Portugal, de edades Precámbrico, Cámbrico inferior y Silúrico según Capdevila (1969), Martínez García (1971) y Ribeiro y Rebelo (1966), respectivamente.

7. En Salamanca, la Serie de Morille parece estar por debajo de las Calizas de Tamames, datadas por García de Figuerola & Martínez García como del Cámbrico inferior. Por tanto, puede corresponder su edad a la parte inferior del Cámbrico (o Eocámbrico de Parga, 1971), o al Precámbrico superior.

8. Los niveles de vulcanitas y rocas mixtas vulcanosedimentarias existentes en la Serie de Morille, podrían ser comparables con la formación Olo de sapo o al menos con la parte inferior de la misma.

BIBLIOGRAFIA

- BARD, J. P., CAPDEVILA, R. & MATTE, PH. 1971: "La structure de la chaîne hercynienne de la meseta ibérique: comparaison avec les segments voisins". Hist. Estr. Golfe Gasc., Inst. F. Petr., T. I. págs. I-4-1 a I-4-68, París.
- CAPDEVILA, R., 1969: "Le métamorphisme régional progressif et les granites dans le segment hercynien de Galice Nord-orientale (NW de l'Espagne)", These Doct. Univ. Montpellier, págs. 1-430.
- GARCÍA DE FIGUEROLA, L. C., 1965: "Datos sobre las pizarras de Lugo", Rev. Fac. Cienc., Oviedo, núm. 6, fasc. 1, páginas 131-143.
- , 1971: "Una estructura interesante: el sinclinal ordovícico-silúrico de Sequeros-Ahigal de los Aceiteros", Stvd. Geol. Univ. Salamanca, v. II, páginas 45-56.
- GARCÍA DE FIGUEROLA, L. C. & MARTÍNEZ GARCÍA, E., 1972: "El Cámbrico inferior de la Rinconada (Salamanca, España Central)", Stvd. Geol. Univ. Salamanca, v. III, páginas 33-41.
- JIMÉNEZ FUENTES, E. & SAAVEDRA ALONSO, J., 1971: "Contribución al conocimiento del Silúrico de la Sierra de Tamames (Salamanca)", Stvd. Geol. Univ. Salamanca, V. II, páginas 7-24.
- LÓPEZ DE AZCONA, M. C. & MINGARRO, F., 1967: "Mapa geológico de la provincia de Salamanca, a escala 1/200.000", Inst. Geol. Min. Esp.
- MARTÍNEZ GARCÍA, E., 1971: "Esquema geológico del NW de la provincia de Zamora (Noroeste de España)", Publ. I Congr. Hisp. Luso Amer. Geol. Econ., Sec. I, T. I, páginas 273-286, Madrid.
- , 1972: "El Silúrico de San Vitero (Zamora). Comparación con series vecinas e importancia orogénica", Acta Geol. Hisp., T. VII, núm. 4, páginas 104-108, Barcelona.
- , 1973: "Deformación y metamorfismo en la zona de Sanabria (provincias de Zamora, León, y Orense, NW de España)", Stvd. Geol. Univ. Salam., V. páginas 6-107.
- MARTÍNEZ GARCÍA, E. & CORRETGE, L. G., 1970: "Nota sobre la serie metamórfica de porto-Villavieja (Provincias de Zamora y Orense)", Stvd. Geol. Univ. Salamanca, v. I, páginas 47-58, Salamanca.
- MINGARRO, F. & LÓPEZ DE AZCONA, M. C., 1970: "Hoja número 523 del Mapa Geológico Nacional a escala 1/50.000 (Las Veguillas)", Inst. Geol. Min. Esp.
- PARGA, J. R., 1971: "Sobre el límite inferior del Cámbrico y la existencia del Eocámbrico en el Macizo Hespérico", Bol. Geol. Min., T. 82, fasc. III y IV, páginas 234-238, Madrid.
- RIBEIRO, L., 1971: "Estudo petrográfico dos escarnitos com scheelite de Cedaes (Tras-os-Montes)", Publ. I Congr. Hisp. Luso Amer. Geol. Econ., Sec. I, T. II, páginas 547-554.
- RIBEIRO, A. & REBELO, J. A., 1966: "Stratigraphie et structure de Tras-os-Montes Oriental (Portugal)", Leidse Geol. Meded., d. 36, páginas 291-298, Leiden.
- SCHMIDT-THOME, P., 1945: "Paläozoisches Grundgebirge und junges Deckgebirge im Westlichen Zentralspanien (Provinz Salamanca und Cáceres)", Geotekt. Forsch., h. 6, Berlín (Trad. en 1950, "Basamento Paleozoico y cobertura moderna en la parte occidental de España Central (Provincias de Salamanca y Cáceres)", Publ. Extr. Geol. Esp., C.S.I.C., t. V, páginas 93-146.
- SDMUY, K., 1971: "Acerca de la correlación del Cámbrico inferior en la Península Ibérica", Publ. I Congr. Hisp. Luso Amer. Geol. Econ., Sec. I, vol. II, páginas 753-768, Madrid.
- TEMPLADO, D. & PASTORA, J. L., 1946: "Explicación de la Hoja del Mapa Geológico Nacional a escala 1/50.000, número 478 (Salamanca)", Inst. Geol. Min. Esp., Madrid.

Recibido: Marzo de 1973.

Observaciones sobre la Geología del sector Alcaraz-Robledo (Zona Prebética, provincia de Albacete) (*)

Por L. LINARES GIRELA (**) y T. RODRIGUEZ-ESTRELLA (**)

RESUMEN

Se estudia un sector del extremo sur-occidental de la provincia de Albacete, que ocupa parte de la cobertera tabular de la Meseta y de la zona Prebética.

Se describen los materiales paleozoicos, triásicos jurásicos y terciarios que afloran, haciendo resaltar las dificultades que plantea la ausencia de fauna característica en todos los niveles dado el predominio de materiales dolomíticos; en consecuencia las observaciones estratigráficas se reducen extraordinariamente y no se puede hablar más que de unidades litoestratigráficas.

Existen dos dominios estructurales separados por una línea muy neta: al N la cobertera tabular de la Meseta y al S una zona de escamas de vergencia N, cuya dirección cambia de manera progresiva. Estas escamas afectan a materiales del Jurásico y del Tortonense, lo que permite datar la estructuración de este sector de la zona Prebética.

El límite S de este trabajo viene marcado por un amplio afloramiento de Trías, que presenta pruebas evidentes de haber sufrido movimientos halocinéticos.

RESUME

L'étude porte sur un secteur de l'extrême sud-ouest de la province d'Albacete, situé à cheval sur la couverture tabulaire de la Meseta et sur la zone Prébétique.

Les auteurs décrivent les matériels paléozoïques, triasiques, jurassiques et tertiaires qui affleurent, en faisant ressortir les difficultés que pose l'absence de faune caractéristique dans tous les niveaux du fait de la prédominance des faciès dolomitiques; de ce fait les observations stratigraphiques sont très réduites et on ne peut guère parler que d'unités lithostratigraphiques.

Il existe deux domaines structuraux, séparés par une ligne très nette: au N la couverture tabulaire de la Meseta, et au S une zone d'écaillés à regard N, dont la direction change de manière progressive. Ces écaillés affectent des matériels du Jurassique et du Tortonense, ce qui permet de dater la structuration de ce secteur de la zone Prébétique.

La limite S de cette étude est marquée par un important affleurement de Trias, qui présente des preuves évidentes d'avoir été soumis à des mouvements halocinétiques.

INTRODUCCION.

En el marco del *Estudio Hidrogeológico de la comarca Cazorla-Hellín-Yecla* que llevan a cabo conjuntamente el I. G. M. E. y el I. R. Y. D. A., los autores estudian parcialmente la geología de las ho-

jas núm. 815 (Robledo) y núm. 843 (Alcaraz) del M. T. N. escala 1:50.000, situadas en el extremo sur-occidental de la provincia de Albacete.

Un resumen de la estratigrafía de la región que se estudia, fue presentado al *I Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Jurásico de España*, como parte de un trabajo más amplio referido al Jurásico inferior y medio de la provincia de Albacete (García Rodrigo, B. y Pendás, F., 1971).

Los datos que se exponen, junto con otros de zonas limítrofes, en curso de elaboración por los au-

(*) Realizado en el Estudio Hidrogeológico Cazorla-Hellín-Yecla (IGME-IRYDA).

(**) Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.

tores, constituyen el objeto de las respectivas tesis doctorales de éstos, a los que la dirección del *Estudio Hidrogeológico Cazorla-Hellín-Yecla* ha concedido el oportuno permiso para utilizar dichos datos con este fin.

La región, desde el punto de vista geológico, ocupa el límite norte de la zona Prebética y parte de la cobertera tabular de la Meseta.

De los datos anteriores merecen destacarse la síntesis de Brikmann, R. y Gallwitz, H. (1933) que nos ha servido de guía en los primeros recorridos por la zona, los mapas y memorias del I. G. M. E. (1948, 1954) y un trabajo de Navarro, A. y Saavedra, J. L. (1966). Fuentes de información de gran valor, han constituido las publicaciones y comunicaciones orales relativas a sectores cercanos, de características estratigráficas y tectónicas similares de Dabrio, C. J. y López Garrido, A. C. A ellos hemos de agradecer los días que emplearon en mostrarnos su región de estudio y los que nos acompañaron a la nuestra. Hemos de manifestar igualmente, y de manera especial, nuestro agradecimiento a F. Pen-dás por sus orientaciones y colaboración a lo largo de nuestras investigaciones y al Dr. D. Juan A. Vera Torres que revisó el original de este trabajo.

ESTRATIGRAFIA.

Afloran materiales paleozoicos, triásicos, jurásicos y terciarios. No se han encontrado en ningún punto formaciones cretácicas ni siquiera jurásicas superiores. Dado el predominio de materiales dolomíticos en la serie estratigráfica, no ha sido posible obtener dataciones paleontológicas, por lo que, para su estudio, nos referimos a formaciones litoestratigráficas.

Paleozoico de la meseta.

En la región estudiada tiene una extensión muy limitada; se halla reducido a unos pequeños afloramientos de los alrededores de Alcaraz que se presentan rodeados por materiales triásicos. Litológicamente está constituido por cuarcitas grises con algunas intercalaciones de pizarras silíceas. Se encuentra afectado por la tectónica Herciniana.

Triásico.

Existen en la región dos grandes afloramientos de Triás de características diferentes:

1. *Triás de Alcaraz.*
2. *Triás de Paterna-Bogarra.*

Aparte de estos dos grandes afloramientos se han localizado otros de menor extensión a lo largo de los ríos Jardín y Cubillo.

1. *Triás de Alcaraz.*—Descansa discordante y horizontalmente sobre el Paleozoico, pudiéndose observar cómo su estratificación se levanta para adaptarse a un relieve preexistente (buzamiento original). Litológicamente está constituido por una alternancia de areniscas y arcillas rojas, con predominio de las primeras y yesos en la parte alta: existen también algunas pasadas de arcillas verdes. Los bancos de areniscas suelen presentar estratificación cruzada. La potencia es de unos 200 metros. Se asemeja fuertemente a la "formación de Chicla-na del Segura" descrita al SW por López Garrido, A. C. y Rodríguez-Estrella, T. (1970).

2. *Triás de Paterna-Bogarra.*—Presenta unas características litológicas muy diferentes; en él predominan las arcillas sobre las areniscas, los yesos se hacen más abundantes y están representados a lo largo de toda la columna. Por su parte este Triás se asemeja al "Triás de Hornos" descrito al SW por López Garrido, A. C. (1971).

Jurásico.

Se pueden distinguir, de muro a techo, dos unidades litoestratigráficas superpuestas:

1. *Formación Carbonatada.*
2. *Formación Arcillosa.*

1. *Formación Carbonatada.*—Sobre el *Triás de Alcaraz* y claramente concordante con él, aparecen unas calizas recristalizadas rojizas con geodas de calcita, carniolas en la base y dolomías grises de grano fino en la parte alta. Esta formación está claramente representada en la:

Serie de Vianos. (Tajos de esta localidad). Fig. 1.
De muro a techo:

- 56 m. de micritas y micritas recristalizadas.
- 6 m. de dismicritas.
- 13 m. de dolomías de textura fina.
- 40 m. de calizas recristalizadas con restos de lamelibranquis y gasterópodos.
- 46 m. de dolomías de textura muy fina con restos de braquiópodos, gasterópodos, lamelibranquis, ostrácodos y verneuilínidos.
- 2 m. de microsparitas con algo de arcilla.

En total presenta esta formación una potencia de 161 metros, pues los dos últimos pertenecen ya a la *F. Arcillosa.*

2. *Formación Arcillosa.*—Presenta cambios de unos puntos a otros, al contrario que la *F. Carbonatada*, que tiene una constancia regional en litofacies y potencia. En general está constituida por predominio de arcillas verdes y rojas, que a veces pueden confundirse con el Triás, existiendo también intercalaciones carbonatadas, generalmente dolomíticas. Esta formación ha sido definida por las:

Serie de Carretera de Alcaraz-Fábricas (Km. 160).
Fig. 1. De muro a techo:

30 m. de dolomías de textura fina a media con paquetes de dolomías arcillosas.

25 m. de micritas recristalizadas con fantasmas de oolitos.

Potencia total: 227 metros.

Serie de El Jardín. (Cerro de la Jarosa, junto a esta localidad). Fig. 1. De muro a techo:

8 m. de dolomías de textura muy fina.

9 m. de alternancias de calizas recristalizadas

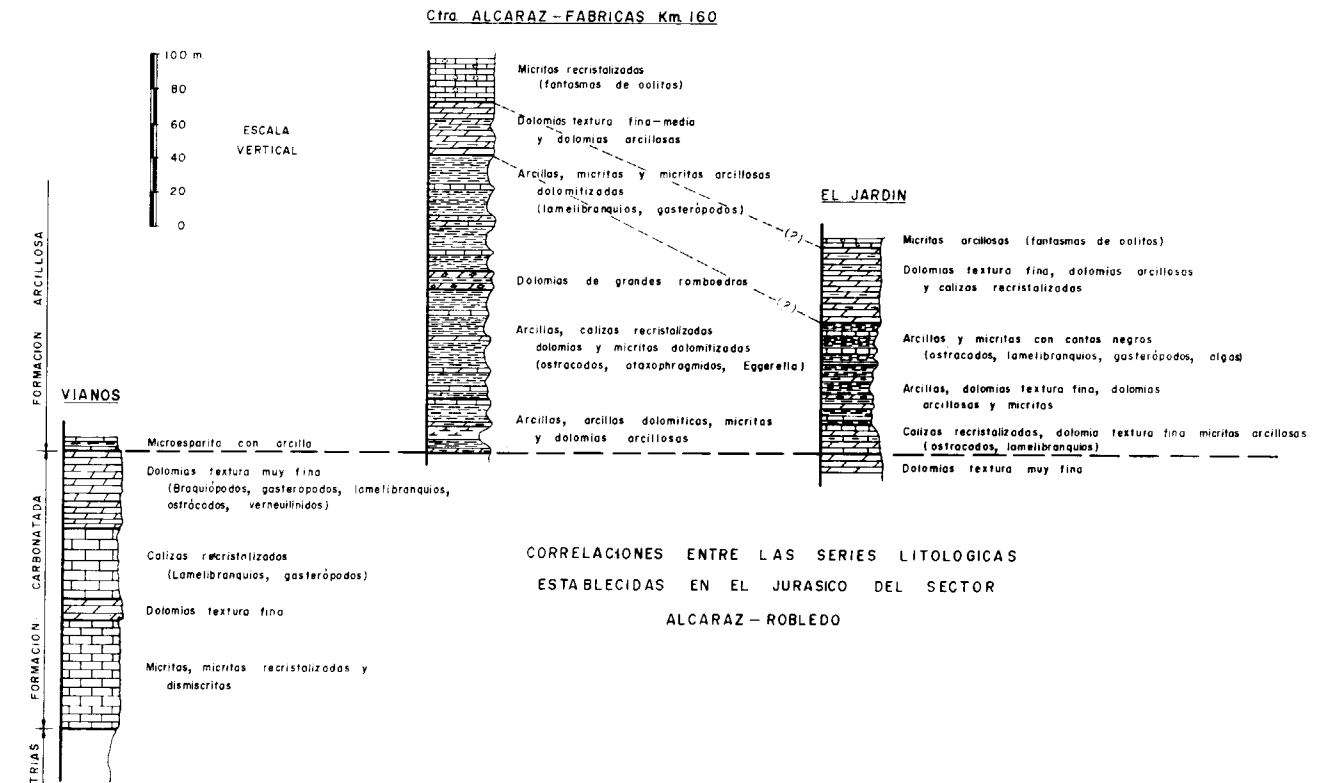


Figura 1

- 31 m. de arcillas con bancos de dolomías arcillosas, micritas arcillosas dolomitizadas y arcillas dolomíticas.
- 64 m. de arcillas con bancos de calizas recristalizadas, dolomías y micritas dolomitizadas con ostrácodos, ataxophragmidos y Eggerella.
- 8 m. de dolomías con romboedros de gran tamaño y arcillas.
- 69 m. de arcillas con bancos de micritas y micritas arcillosas dolomitizadas con restos de lamelibranquios y gasterópodos.

- y dolomías con ostrácodos y testos de lamelibranquios.
- 5 m. de dolomías de textura fina a media.
- 2 m. de micritas arcillosas.
- 13 m. de micritas dolomitizadas y dolomías en alternancia con arcillas.
- 7 m. de dolomías de textura muy fina.
- 4 m. de arcillas y dolomías arcillosas.
- 11 m. de micritas dolomitizadas y dolomías con arcilla.
- 15 m. de alternancia de arcillas y micritas recristalizadas con ostrácodos y restos de la-

melibranquios, gasterópodos y algas. Presencia de cantos negros.

- 10 m. de alternancia de micritas y arcillas.
- 2 m. de pseudo-esparitas dolomitizadas.
- 32 m. de dolomías de textura cristalina fina y dolomías arcillosas con paso gradual a calizas recristalizadas (microesparitas y pseudoesparitas) con fantasmas de oolitos.
- 5 m. de micritas arcillosas.

La potencia total es de 125 metros, pues los ocho primeros de dolomías corresponden a la *F. Carbonatada*.

Existen, pues, entre estas dos series netas diferencias: la *F. Arcillosa* disminuye enormemente de potencia hacia el norte y se hace menos arcillosa y menos dolomítica en esa dirección.

Relación y edad de las formaciones.—Ambas son concordantes y la *F. Carbonatada* es inferior a la *F. Arcillosa*.

En cuanto a la edad, no se puede precisar con exactitud, puesto que falta fauna característica y sólo se puede decir que están comprendidas entre el Triás y unas dolomías y calizas (*formación Chorro*) que no aparecen en el sector estudiado, pero que más al este se ha datado a su techo el Dogger (Pendás, F. y Linares Girela, L., 1971); por lo tanto la edad es Lias-Dogger (?).

Mioceno.

Está muy bien representado en la meseta de Vianos, donde se pueden distinguir tres tramos:

Tramo inferior.—Constituido por calizas bioclásticas areniscosas, con glauconita y bancos de conglomerado con cantos de cuarcita y de las formaciones antes descritas. En Vianos alcanza una potencia de 150 metros. Se ha encontrado fauna de pectínidos, ostréidos y equínidos (*Clypeaster*).

Tramo medio.—Formado por un nivel de margas sabulosas blanco-amarillentas. Presenta una potencia de 20 a 30 metros.

Tramo superior.—Se conoce mal, ya que en la mayor parte de los casos falta por erosión; en Vianos, formado por calizas bioclásticas análogas a las del *Tramo inferior*, se ha encontrado fauna de pectínidos y ostréidos.

Sobre la edad de estos materiales nos faltan datos paleontológicos precisos, pero por similitud de

facies con otros afloramientos de la región podemos atribuirlos a un Mioceno medio (Tortonense) (González Donoso, J. M. y López Garrido, A. C., 1970 a y b).

"Raña" post-miocena.

Es muy frecuente, en casi la totalidad de la región estudiada, la existencia de campos de guijarros de cantos de cuarcita. Se les denomina "raña" y la consideramos post-miocena porque el material más moderno sobre el que descansa es el Mioceno, pero no se excluye la posibilidad de que pueda incluir términos de un Mioceno terminal o que por el contrario sea más moderna (Plioceno o Cuaternario).

Cuaternario.

Tiene escasa representación y se reduce a rellenos de arcillas, arenas y conglomerados, que se localizan en los cauces de los ríos y pequeñas zonas deprimidas, así como derrubios de ladera.

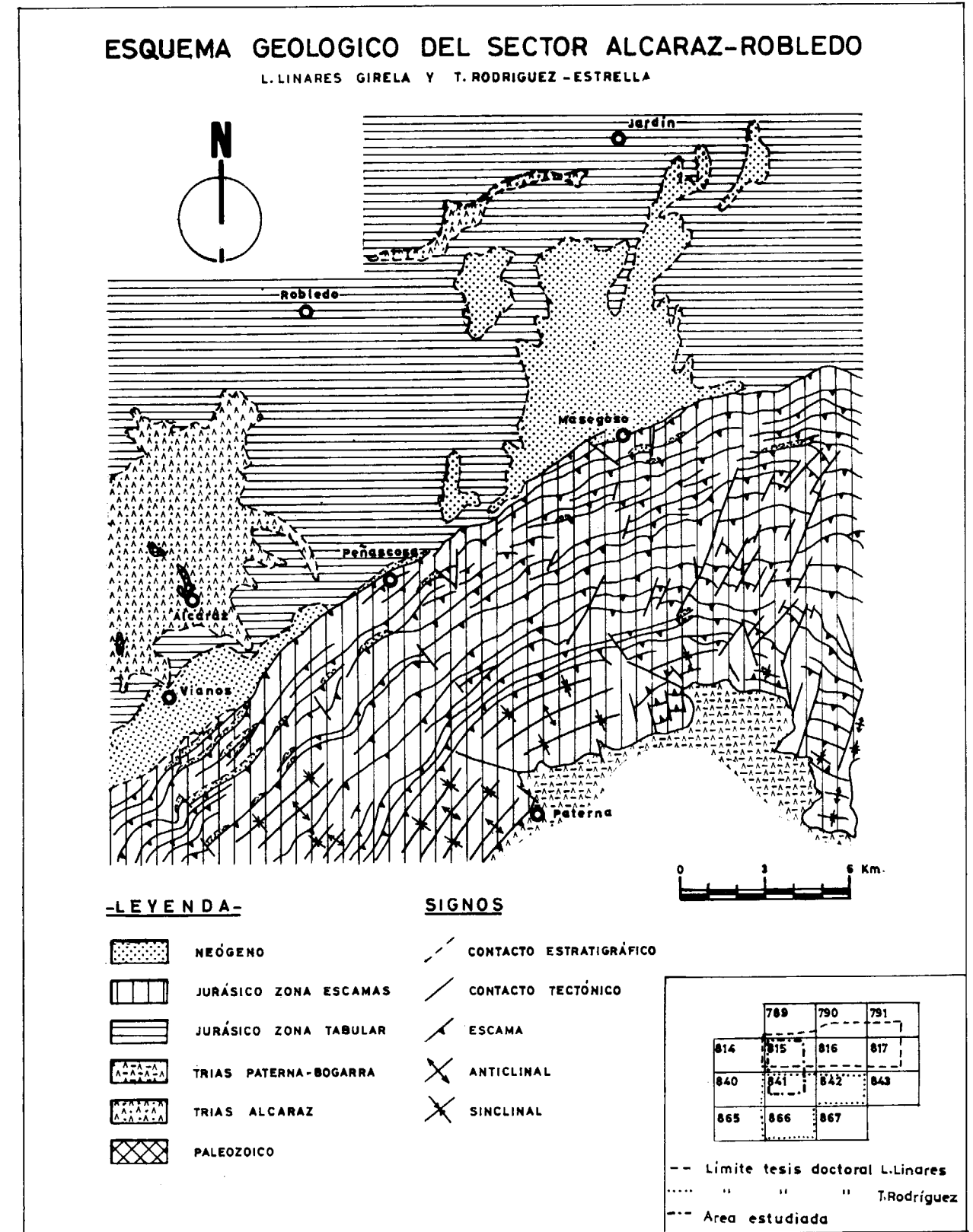
Se han localizado formaciones de travertino en Los Chospes, Los Batanes y Casa de la Toba, que ponen de manifiesto la buena calidad como acuífero de la *F. Carbonatada*.

TECTONICA.

Se distinguen en la zona dos sectores completamente diferentes en cuanto a su disposición estructural, separados por una línea muy neta que pasa a 2 kilómetros al sur de Vianos, Peñascosa, Pesebre, Cilleruelo, Masegoso, Peñarrubia y continúa hacia el Este.

Al norte de esta línea afloran el Triás, Jurásico y algunos materiales terciarios de la cobertera tabular de la Meseta. Su disposición horizontal está afectada en algunos casos por pliegues muy suaves con buzamientos que no suelen pasar de los 10°-15° y sin orientaciones definidas, estructuras que se pueden considerar originadas fundamentalmente por mecanismos de compactación diferencial.

Al sur de la referida línea, el estilo tectónico se caracteriza por el apilamiento de un gran número de escamas que vergen al Norte. Estas afectan fundamentalmente a materiales jurásicos de las *F. Carbonatada* y *F. Arcillosa*. No se ha observado, sin embargo, el Triás implicado en estas estructuras, contrariamente a lo que manifiestan otros investigadores que han trabajado en la región. Es posible que ciertos afloramientos de la



F. Arcillosa hayan sido confundidos con el Trías por su similitud litológica. El hecho de no encontrar Trías implicado en las escamas induce a suponer que dichas estructuras sólo afectan a la covertera post-triásica, que se fractura, se apila y se desliza sobre el Trías, a nivel de cuyo techo se produce un despegue.

Se han observado afloramientos de Mioceno (Tortonense) implicados en las escamas, hecho interesante que permite datar la edad de la estructuración de este sector de la zona Prebética.

Hechos similares a los descritos han sido puestos de manifiesto por Dabrio, Foucault y López Garrido en las Sierras de Segura y Cazorla, situadas más al Sur, en unidades estructurales que se presentan alineadas con la que se estudia.

El buzamiento de los planos de las escamas, que suele coincidir con la estratificación, en general varía de 15°, en la zona frontal, a 80°, en la más interna de esta unidad estructural. La dirección de aquéllas comienza siendo NE-SW, en el sector occidental de la región, pasando progresivamente a ser E-W y, finalmente, NW-SE en el sector oriental, dirección que se conserva al Este en las hojas de Peñas de San Pedro y Lietor (ver mapa, figura 2).

Merece citarse también la existencia de fallas de desgarre transversales a las escamas.

Es interesante señalar que la tectónica, que se mantiene según un esquema muy concreto de escamas de vergencia norte en la mayor parte de la región, se complica en las proximidades del contacto con el *Trías de Paterna-Bogarra*; en efecto, este amplio afloramiento de Trías que ha servido para marcar el límite de este trabajo, se presenta muy tectonizado, al igual que los materiales más próximos a él y con evidentes muestras de haber sufrido un movimiento halocinético, consecuencia del cual puede ser la complicación que sufren las estructuras en su contacto. Por otra parte, hay que hacer notar que dicha complicación se hace mucho más patente en la zona oriental, donde aparecen incluso escamas de vergencia sur; es aquí donde las direcciones de estructuras sufren un rápido y brusco giro. No se excluye la posibilidad de relacionar la complicación tectónica y la vergencia al sur de algunas estructuras con el giro de las direcciones en este preciso lugar. El estudio más detallado de la región situada inmediatamente más al Este, que actualmente se lleva a cabo, permitirá concretar ideas al respecto.

* * *

De manera esquemática y a modo de conclusiones, se expone, finalmente, la historia geológica de la región.

El Paleozoico, fuertemente afectado por la orogenia Herciniana, sufre, después de ésta, una intensa etapa erosiva.

El Trías se deposita en un medio no definido que pudo ser marino restringido o continental (López Garrido, A. C., y Rodríguez Estrella, T., 1970). La presencia de evaporitas hace suponer que el continente no debía estar demasiado lejos, pudiéndose tratar de un régimen lagunar o de un mar de poca profundidad, que permitiría, eventualmente, el aislamiento de pequeñas lagunas, donde se concentraran las evaporitas.

Durante el depósito de la *F. Carbonatada* del Jurásico, la zona se halla invadida por un mar epicontinental poco profundo, manteniéndose un medio similar durante el depósito de la *F. Arcillosa*, aunque en este intervalo debieron producirse ligeros movimientos de subsidencia que originaron eventualmente el aislamiento de ciertos sectores y la emersión de otros.

La falta de materiales desde el final del Jurásico hasta el Mioceno no permite reconstruir la historia durante este lapso de tiempo.

El Mioceno se deposita, después de una etapa erosiva, indistintamente sobre la *F. Carbonatada* o la *F. Arcillosa*, en un régimen marino poco profundo.

Depositado el Tortonense, durante o al final de éste, tiene lugar una etapa tectónica que origina fundamentalmente escamas.

Tras esta estructuración comienza una etapa erosiva que progresivamente va dando a la región la morfología actual.

BIBLIOGRAFIA

- BRINKMANN, R. y GALLWITZ, H.: *El borde externo de las cadenas béticas en el sureste de España*. "Publicaciones Ext. sobre Geol. de España", vol. V, pp. 167-290. Madrid, 1950, Inst. "Lucas Mallada", de Inv. Geol. (1933).
- DABRIO, C. J. y LÓPEZ GARRIDO, A. C.: *Estructura en escamas del sector noroccidental de la Sierra de Cazorla (zona Prebética) y del borde de la depresión de Guadalquivir (provincia de Jaén)*. "Cuader. Geol. Univ. Gran.", I-3, pp. 149-158 (1970).
- Estudio Hidrogeológico de la Comarca Cazorla-Hellin-Yecla*. Notas técnicas, núms. 1 y 2 (inédito) (1969-72).

Estudio Hidrogeológico de la Comarca Cazorla-Hellin-Yecla. Informe de recopilación y síntesis. Madrid. IGME.—IRYDA (1972).

FOUCAULT, A.: *Etude géologique des environs des sources du Guadalquivir (Provinces de Jaen et Grenade, Espagne méridionale)*. Tesis doctoral. Fac. Sciences. Univ. de París (1971).

GARCÍA RODRIGO, B. y PENDAS, F.: *Consideraciones sobre el Jurásico inferior y medio de Albacete*. "Cuad. Geol. Ibérica", vol. 2, pp. 255-272 (1971).

GONZÁLEZ DONOSO, J. M. y LÓPEZ GARRIDO, A. C.: *Los afloramientos miocénicos de la hoja de Orcera (zona Prebética, provincia de Jaén)*. "Cuad. Geol. Univ. Granada", I-2, pp. 101-106 (1970 a).

GONZÁLEZ DONOSO, J. M. y LÓPEZ GARRIDO, A. C.: *El Mioceno pretectónico del extremo oriental de la depresión del Guadalquivir (provincia de Jaén)*. "Cuad. Geol. Univ. Gran.", I-3, pp. 183-191 (1970 b).

Instituto Geológico y Minero de España. Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja núm. 843 (Alcaraz) (1948).

Instituto Geológico y Minero de España. Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja núm. 815 (Robledo) (1954).

LÓPEZ GARRIDO, A. C.: *Geología de la zona Prebética al NE de la provincia de Jaén*. Tesis doctoral. Universidad de Granada (1971).

LÓPEZ GARRIDO, A. C. y RODRÍGUEZ ESTRELLA, T.: *Características sedimentarias de la "Formación Chiclana de Segura"*. "Cuad. Geol. Univ. Grand.", I-1, pp. 17-21. (1970).

NAVARRO, A. y SAAVEDRA, J. L.: *Estudio general de un área de la provincia de Albacete (parte sur)*. "Notas y Comuns. Inst. Geol. y Minero de España" núm. 86, pp. 7-30 (1966).

PENDÁS, F.: *Definición morfológica de los embalses subterráneos del Alto Sureste español*. "I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geol. Econ.4 Sección 3, t. 2, pp. 529-550 (1971).

PENDÁS, F. y LINARES GIRELA, L.: *Estudio de la Formación Chorro "IV Jornadas Minero-Metalúrgicas de Cartagena"* (inédito) (1971).

Recibido: Junio de 1973.

Estudio geoestructural de los afloramientos metamórficos del norte de la provincia de Avila

Por R. CAPOTE (*)

RESUMEN

Se describen las características estratigráficas y tectónicas de un área del Sistema Central Español, alrededor de Avila. Sobre un complejo de augengneises precámbricos, se apoyan varias formaciones metasedimentarias de edad cámbrica y ordovícica. La deformación, de edad hercínica, se produjo en varias facies, las primeras con desarrollo de esquistosidad. Una posterior fracturación tardihercínica dio lugar a diversos sistemas de fallas y diques. El metamorfismo es de alta T/P. Hay rocas graníticas precoces deformadas y rocas graníticas tardías, más profusamente desarrolladas.

ABSTRACT

Stratigraphic and tectonic features of an area in the "Sistema Central" (Spain), around Avila, are summarily described. A precambrian augengneiss complex and several cambrian and ordovician formations are deformed by several hercynian tectonic phases. Farther late hercynian strike-slip faulting is produced. Regional metamorphism is high T/P. There are also different structural types of granitic rocks.

INTRODUCCION.

El presente trabajo es un resumen de la tesis presentada en la Facultad de Ciencias de la Universidad Complutense de Madrid para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Dicha tesis, realizada bajo la dirección del Catedrático de Geodinámica Interna don Manuel Alía Medina, fue leída el día 2 de marzo de 1972.

El objeto de esta tesis doctoral era establecer la estratigrafía y tectónica de las series metamórficas hercínicas de la región que rodea a Avila y averiguar su posición y sus relaciones con el resto del Macizo Hespérico para, finalmente, trazar la evolución geoestructural de este sector.

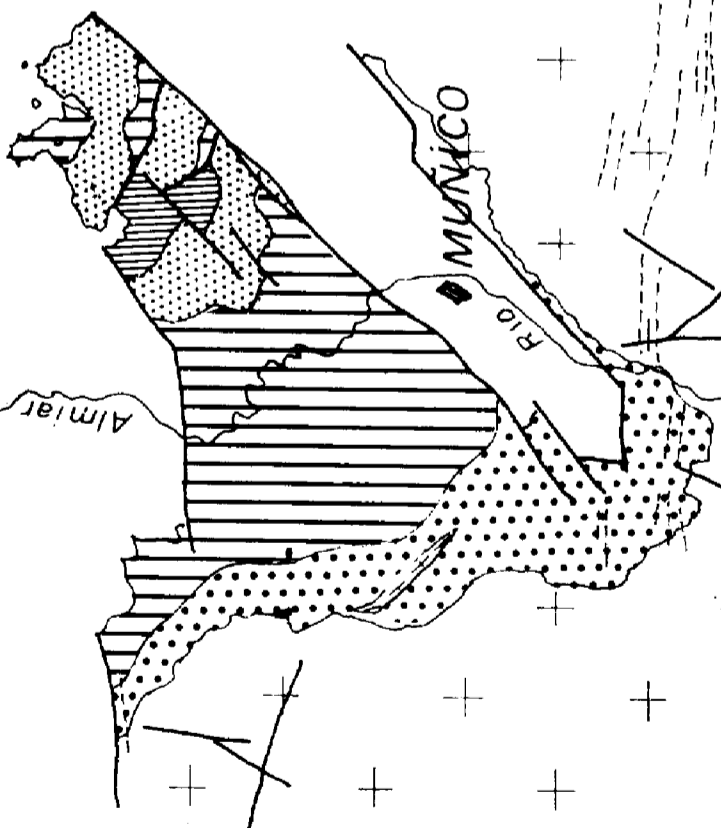
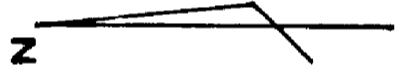
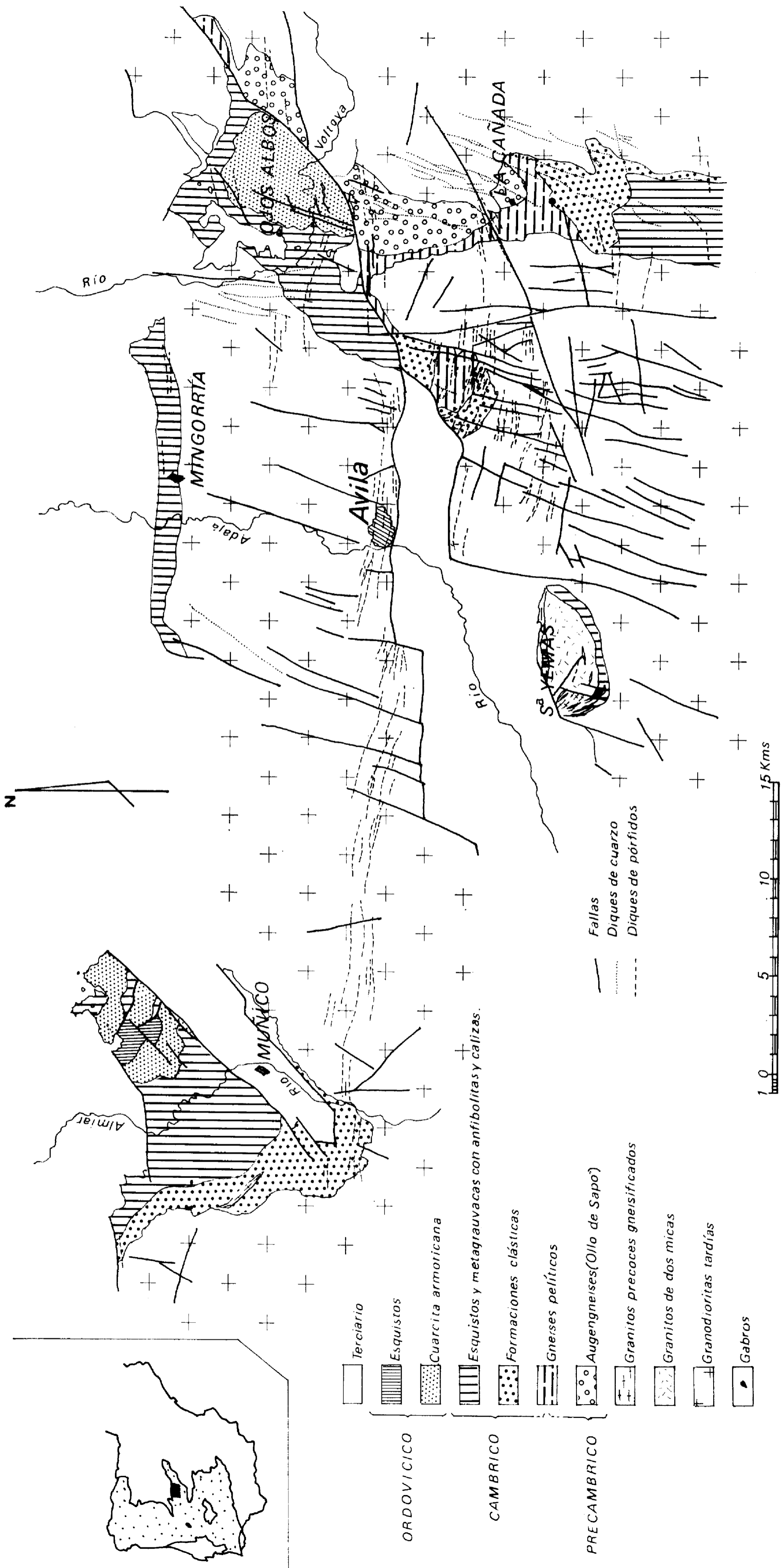
Geológicamente, el área estudiada pertenece al Tronco Galaico-Castellano (Lotze, 1945) del Macizo Hespérico y se localiza en el Sistema Central Español dentro de las hojas topográficas nacionales a

escala 1:50.000 números 505 (Mirueña), 506 (Cardeñosa), 507 (El Espinar), 530 (Vadillo de la Sierra), 531 (Avila) y 532 (Las Navas del Marqués). Las series metamórficas investigadas se sitúan en varios afloramientos separados por rocas graníticas. Hemos denominado a dichos afloramientos con nombres de localidades situadas en cada uno de ellos (Capote y Vegas, 1968). Los dos principales, a los cuales se refiere fundamentalmente este trabajo, son los de *Muñico* y *Ojos Albos-La Cañada-Cebreros*, si bien se han estudiado también los de *Mingorría* y *Sierra Yemas*, como puede verse en el mapa adjunto.

El estudio ha comprendido la delimitación de los diferentes afloramientos metamórficos, el establecimiento de la serie estratigráfica, la cartografía geológica estudio petrográfico, estudio tectónico utilizando principalmente los métodos microtectónicos y la elaboración y síntesis final de datos.

Escasea la bibliografía referente a la región concreta estudiada. No obstante han sido muy útiles,

(*) Cátedra de Geodinámica Interna. Departamento de Geomorfología y Geotectónica. Universidad Complutense de Madrid.



- Terciario
- Esquistos
- Cuarcita armoricana
- Esquistos y metagrauvascas con anfíbolitas y calizas.
- Formaciones clásticas
- Gneises pelíticos
- Augengneises (Ojo de Sapo)
- Granitos precoces gneisificados
- Granitos de dos micas
- Granodioritas tardías
- Gabros

- Fallas
- Diques de cuarzo
- Diques de pórfidos



además de los trabajos antiguos de Casiano del Prado (1879), los más modernos de San Miguel de la Cámara y García de Figuerola (1960), Bard, Capdevila y Matte (1970), Fúster y Mora Peña (1970) y los propios del autor, Capote y Vegas (1968) y Capote y Fernández Casals (1971). Referente a otras regiones del Sistema Central, sobre todo a su mitad oriental, existe una más abundante bibliografía, la cual, junto con la de otras zonas del Macizo Hespérico, ha permitido aclarar algunos problemas planteados, así como correlacionar este sector con otros de la Cadena Hercínica.

I. ESTRATIGRAFIA Y METAMORFISMO.

El metamorfismo regional, migmatización y fuerte deformación penetrante que afecta a todos los materiales premesozoicos no plutónicos de esta región del Sistema Central, dificultan enormemente el trabajo estratigráfico. Por ello, se han descrito las diferentes formaciones litológicas por separado dentro de cada afloramiento, dándoles nombres locales, y la correlación se ha establecido posteriormente. Pertenecen todos los materiales al Paleozoico Inferior y al Precámbrico, metamorfizados durante la orogenia hercínica.

I.1. ESTRATIGRAFÍA DEL AFLORAMIENTO DE MUÑICO.

Dos grandes conjuntos litológicos constituyen las series de este afloramiento, uno de edad preordovícica y otro de edad ordovícica.

I.1.1. *Preordovícico* ("Capas del Río Almiar").

Está formado por dos unidades diferentes:

Unidad Inferior. Al ser cortada por los granitos en su parte sur, no es visible su muro. Está formada por micacitas de dos micas, grisáceas, con intercalaciones de capas de metaarcosas y metacuarcitas, así como algún lentejón de anfibolita.

Unidad Superior. Menos metaforfizada en general, se encuentra constituida por una sucesión de esquistos verdosos, niveles delgados de metagrauvas (*) cuarzosas, en alguna preparación con "graded bedding" visible, anfibolitas cuarzosas y epidotitas pa-

(*) Estas "metagrauvas" están formadas por más del 15 por 100 de matriz y por clastos de cuarzo dominantes, algo de plagioclasa y ningún fragmento lítico visible. Serían, pues, unas "Quartzose Wacke, según la clasificación de Hakuyu Okada (1971) Jour. of Geolo. Vol. 79, núm. 5.

raderivadas, con varias capas de caliza de color crema claro hacia el techo.

La potencia total de las "Capas del Río Almiar" llega, probablemente, a 1.500 metros, si bien es difícil de asegurar este punto dada la fuerte deformación con transposición que les afecta.

I.1.2. *Ordovícico.*

Está constituido por:

Cuarcitas de San Miguel, formación cuarcítica con dos tramos, uno inferior, con conglomerado de base de gruesos cantos de cuarcita al que siguen esquistos, cuarcitas y conglomerados finos alternantes, y otro superior formado casi exclusivamente por cuarcitas blancas y crema, con facies de "cuarcita armoricana". Ambos tramos contienen Cruzianas y otras huellas (*Arthropycus* y *Rhizomorpha*), todas ellas características del Ordovícico inferior (Arenig). El conjunto alcanza los 400 metros.

Esquistos de Valtuerto, gris-azulados, cloríticos y sericíticos, de 300 metros de potencia. El tránsito de las cuarcitas de San Miguel a estos esquistos se realiza mediante un pequeño paquete de capas de cuarcita de espesor decimétrico alternantes con esquistos.

I.2. ESTRATIGRAFÍA DEL AFLORAMIENTO DE OJOS ALBOS-LA CAÑADA-CEBREROS.

Un conjunto de fracturas de gran importancia y de dirección general NE-SW divide el afloramiento en dos dominios, uno al Norte, menos metamórfico, y otro al Sur, más intensamente metamorfizado.

I.2.1. *Dominio Norte.*

Como en el Afloramiento de Muñico, existen series preordovícicas y series ordovícicas.

Serie preordovícica ("Capas del Mediana"): esquistos grises y verdosos con sericitas, cloritas y biotita, con intercalaciones de metagrauvas cuarzosas, rocas de silicatos cálcicos (anfibolitas y epidotitas) y calizas gris azuladas con lechos silíceos. La potencia total es difícil de evaluar, pero puede llegar a 1.000 metros. Junto a las rocas graníticas estos materiales están afectados por metaforfismo de contacto, dando lugar a corneanas, esquistos nodulosos y esquistos moteados.

Serie ordovícica: También en ellas se distinguen dos tramos:

Capas del Voltoya, formación cuarcítica, con Cruzianas, equivalente al Arenig. (600 metros). Lleva

intercalaciones de esquistos en la mitad inferior y de conglomerados finos en la base.

Esquistos de Peñargorda. Son esquistos gris-azulados, con delgados niveles centimétricos de cuarcita (10 metros visibles).

I.2.2. Dominio Sur.

Las formaciones que en este dominio se han podido distinguir son las siguientes, de muro a techo:

Complejo gneístico basal (1.000-1.500 metros): Augengneises migmatizados, con facies similar al "Olló de Sapo", y constituidos por megacristales de feldespato potásico (generalmente microclina peritizada) ovoides o subidiomorfos, con tamaños que oscilan entre 1 y 8 centímetros, englobados en una mesostasia cuarzo-feldespática con biotita y sillimanita y, a veces, con moscovita. El aspecto de estos gneises es muy característico, por el color gris oscuro de la mesostasia sobre la que destacan los megacristales ocelares claros. Entre estos augengneises se intercalan diversos tipos de gneises leptiníficos. Toda la formación se encuentra siempre dentro de la zona de la sillimanita.

Gneises pelíticos de La Cañada (400 metros). Gneises biotíticos oscuros, bandeados, fuertemente migmatizados, con neosomas pegmatíticos (diatexitas). En algún punto se intercalan en esta formación unos gneises granulados formados por cristales proterógenos de cuarzo y plagioclasa, de 1 a 3 milímetros de diámetro, rodeados por la foliación de la mesostasia. Así como los gneises pelíticos proceden de rocas arcillosas, estos gneises granulados lo deben hacer de grauvacas.

Formación de Navacarros (450 metros). Gneises micáceos y micacitas alternantes con abundantes capas de metacuarcita y metaarcosa. Los neosomas pegmatíticos resultantes de la migmatización se presentan en masas de varios metros, que destacan, por erosión diferencial, sobre los gneises, en general más alterados.

Formación de El Hornillo (600 metros). Micacitas cordieríticas en la parte inferior, esquistos andalucíticos y esquistos con biotita, con intercalaciones de metagrauvacas y algún lentejón de anfibolita cuarzosa, en la parte superior. Esta parte alta de la formación se asemeja mucho, en cuanto a su facies, a los esquistos del Mediana (Dominio Norte).

I.3. ESTRATIGRAFÍA DE LOS AFLORAMIENTOS DE MINGORRÍA Y SIERRA YEMAS.

En estos dos afloramientos, de mucha menor extensión superficial que los dos anteriores afloran es-

quistos andalucíticos, micacitas y rocas anfibolíticas cuarzosas, todas ellas muy intensamente recrystalizadas por metamorfismo de contacto, dando lugar a corneanas y esquistos nodulosos al lado de las rocas graníticas tardías.

I.4. CORRELACIÓN ENTRE LAS DIVERSAS SERIES.

No ofrece duda ninguna la correlación entre las series ordovícicas (fig. 1). Las "Cuarcitas del Voltoya" y las "Cuarcitas de San Miguel" son equiva-

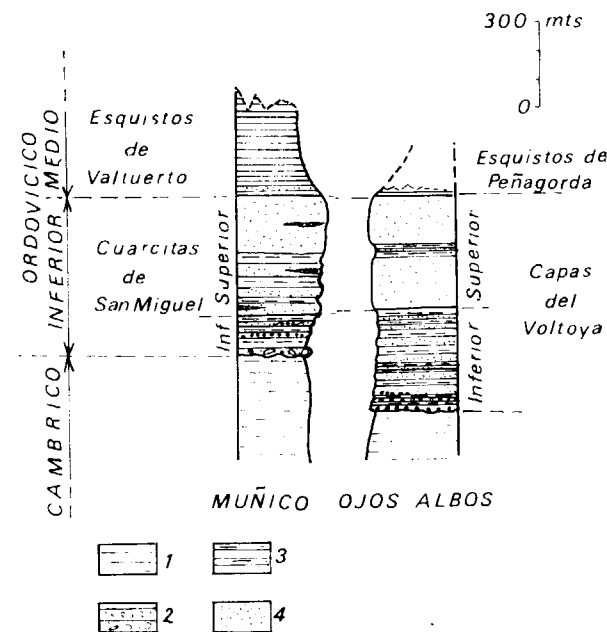


Figura 1

Correlación entre las series ordovícicas de los alrededores de Avila. 1: Esquistos preordovícicos. 2: Conglomerados. 3: Cuarcitas y esquistos alternantes. 4: Cuarcitas. El rayado horizontal sobre las cuarcitas de S. Miguel representa esquistos grises y azulados.

lentes y representan al Ordovícico inferior (Arenig), como puede deducirse de su facies y la presencia de Cruzianas. Los "Esquistos de Valtuerto" y los "Esquistos de Peñargorda" deben representar el Ordovícico medio (Llanvirniense-Llandeilo).

Más difícil es el problema de las series preordovícicas. En la figura 2 se aprecian las relaciones entre las diversas formaciones de esta edad. Las "Capas del Río Almiar", las "Capas del Mediana", y los "Gneises pelíticos de La Cañada", la "Formación de Navacarros" y la "Formación de El Hornillo" constituyen, según esa correlación, una "envuelta pelítica" sobre los augengneises del "Complejo gneístico

basal". La facies del conjunto y de las calizas del río Mediana nos mueven a atribuir a esta envuelta pelítica una edad Cámbrico Inferior, cuyo límite más bajo podría encontrarse dentro de las formaciones clásticas ("Formación de Navacarros" y Unidad Inferior de las "Capas del Río Almiar"). La composición predominantemente esquistoso-grauváquica,

MUÑICO OJOS ALBOS - LA CAÑADA

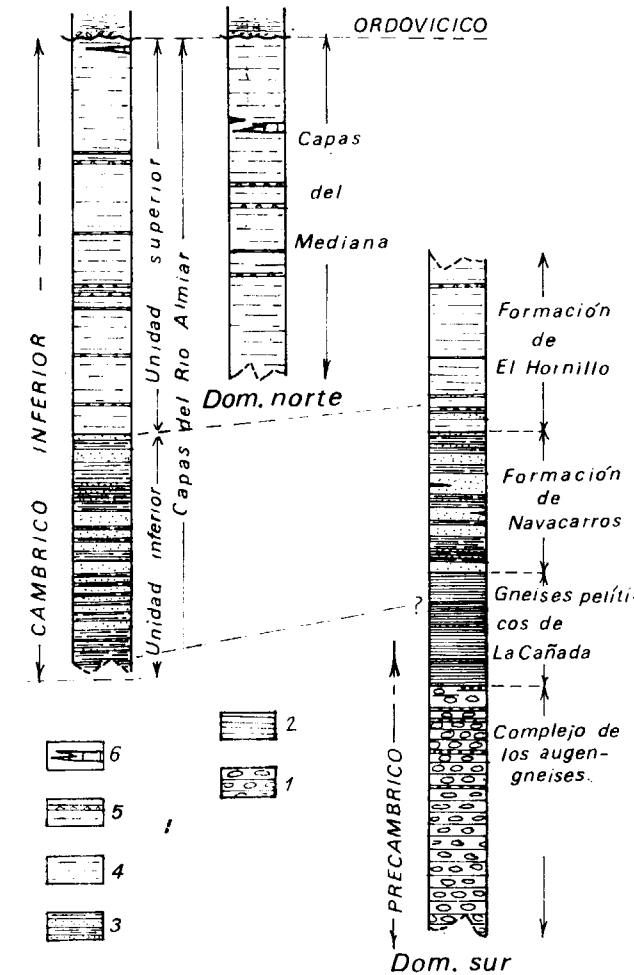


Figura 2

Columnas estratigráficas esquemáticas mostrando la equivalencia entre los diferentes tramos litológicos de las series preordovícicas de la región de Avila. 1: Augengneises con intercalaciones de gneises leptiníficos. 2: Gneises bandeados biotíticos. 3: Micacitas alternantes con metacuarcita. 4: Esquistos verdosos. 5: Lechos anfibolíticos. 6: Calizas.

la presencia de rocas de silicatos cálcicos en delgados lechos, la existencia de capas discontinuas de calizas y su situación por debajo de un Ordovícico transgresivo con conglomerado de base, nos hacen

pensar en una identidad de esta "envuelta pelítica" con la formación portuguesa del "Complejo esquistoso-grauváquico" (Teixeira, 1955).

Los augengneises tipo "Ollos de Sapo" muestran ciertos caracteres (presencia de megacristales feldespáticos heredados, existencia de algunos enclaves mesócratos, contactos netos con la envuelta pelítica, distribución isotropa de megacristales...), que puede explicarse suponiendo que derivan de rocas feldespáticas pertenecientes a un zócalo granítico con una envuelta de productos de alteración y, probablemente, rocas volcánicas ácidas. Su edad debe ser precámbrica, dado que se encuentran situadas por debajo de un posible Cámbrico esquistoso-grauváquico. Es de notar que esta formación de augengneises constituye siempre el sustrato sobre el que se apoyan las demás formaciones paleozoicas en todo el Sistema Central.

Este esquema estratigráfico de las formaciones preordovícicas es el mismo que propone Ribeiro y Almeida Rebelo (1969) para la región de Trás-Os-Montes, donde el Complejo esquistoso-grauváquico se apoya sobre unos gneises tipo "Olló de Sapo" (Complejo gneístico de Miranda do Douro).

I.5. METAMORFISMO Y MIGMATIZACIÓN.

La aparición de andalucita, cordierita y sillimanita define como de alta emperatura y baja presión al metamorfismo regional de este área, tal como muestran Fúster y Mora Peña (1970). Estos autores describen para el afloramiento de Ojos Albos-La Cañada una sucesión de zonas (de la sillimanita, de la ortosa, de la cordierita, de la andalucita y de la biotita) a las que puede añadirse la de la clorita en la Sierra de Ojos Albos y en la parte septentrional del afloramiento de Muñico. Este metamorfismo es de menor presión que el de otras áreas del Sistema Central (Fúster y García Cacho, 1970).

La fusión parcial acompañante del metamorfismo regional en las partes bajas de las series dio lugar a la formación de migmatitas, con neosomas granitoides, permatoides o hidrotermaloides, según las zonas. Esta migmatización es tardicinemática o post-cinemática respecto a la segunda fase de deformación hercínica.

En contacto con las rocas graníticas tardías, y principalmente en las formaciones de bajo grado de metamorfismo regional, se desarrollaron aureolas de metamorfismo térmico, con corneanas, que alcanzan la facies a la que Winkler (1967) denomina del feldespato potásico-cordierita, esquistos nodulosos (nó-

dulos peciloblásticos de cordierita y andalucita) y esquistos moteados.

II. TECTONICA.

II.1. LOS MOVIMIENTOS PREHERCÍNICOS.

Con anterioridad a la época tectogenética hercínica, la de mayor importancia en esta región, tuvieron lugar muy probablemente movimientos prehercínicos, que pueden referirse a los movimientos sárdicos. Dada la intensa deformación hercínica no se ha encontrado una verdadera discordancia angular que date estos movimientos, pero su existencia queda revelada por los siguientes hechos: a) Existencia de conglomerados de base en el Ordovícico, unas veces cuarcíticos gruesos y otras con cantos de pizarra. b) Ausencia de un Cámbrico Superior bien desarrollado y, probablemente, de Cámbrico Medio.

Se trata, pues, de movimientos prehercínicos (fase sárdica) no generadores de microestructuras tipo esquistosidad o micropliegues, pero sí de levantamientos y erosión.

II.2. TECTÓNICA HERCÍNICA DE PLEGAMIENTO.

Todas las formaciones descritas están afectadas por fuerte deformación penetrante de edad hercínica, si bien ésta no puede precisarse demasiado. Las deformaciones deben ser de edad postdevónica inferior-preestefaniense, por comparación con las áreas orientales del Sistema Central. El plegamiento hercínico, de tipo holomórfico, con pliegues similares y fluidales dominantes, se ha realizado en varias fases detectables con criterios microtectónicos. El número de fases es de tres principales y una cuarta, tardía. Las dos primeras dieron lugar al desarrollo de esquistosidad muy visible, mientras que la tercera es, en general, postesquistosa o genera solamente esquistosidad local en algún punto, en el Afloramiento de Muñico. Por separarse con dificultad las macroestructuras de las dos fases primeras las describiremos juntas.

II.2.1. Primera y segunda fases.

Microtectónica

El estudio microtectónico revela que en la región de Avila las dos primeras fases dieron lugar a fuerte flujo plástico de las series pelíticas y parte de las cuarcíticas y que ambas, S_1 y S_2 , tuvieron las siguientes características microtectónicas:

1.º Las dos fases generaron esquistosidad de

plano axial (Capote y Fernández Casals, 1971) según el siguiente esquema:

En el Afloramiento de Muñico.

Esquistosidad S_1 .

—Esquistosidad de flujo en las rocas pelíticas (estiramiento de todo el material y orientación paralela de minerales filitosos), en las samíticas (orientación dimensional de granos y pajuelas micáceas cuando las hay) y en las sefíticas (aplastamiento y orientación dimensional de cantos). Hacia el Norte, la mayor parte de las capas samíticas no presentan esquistosidad.

Esquistosidad S_2 .

—Se distinguen tres zonas de Norte a Sur:

a) Esquistosidad de crenulación y de fractura en la zona de la clorita, a veces strain-slip cleavage (Llandeilo) con micas orientadas según S_2 .

b) Esquistosidad de crenulación, strain-slip cleavage y esquistosidad de flujo en la zona de la biotita. A veces, foliación imperfecta.

c) Foliación en la zona situada por debajo de la isograda de Andalucía. Esta foliación borra casi totalmente a la S_1 .

La dirección dominante de las esquistosidades S_1 y S_2 es NW-SE (fig. 3).

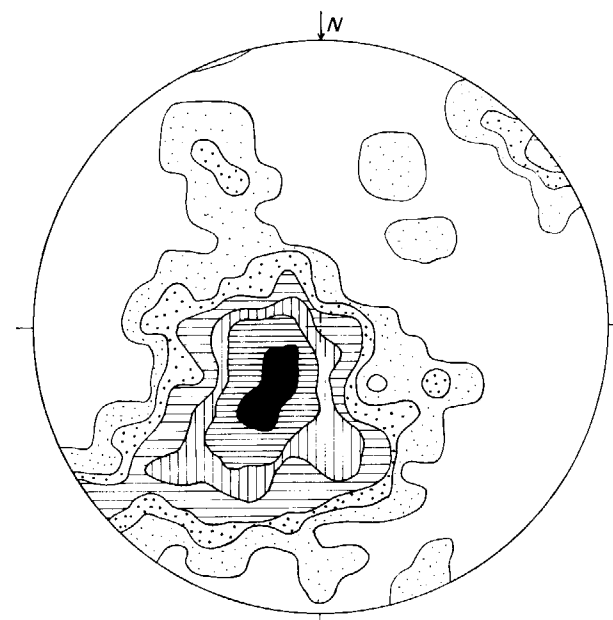


Figura 3

Posición de la esquistosidad dominante S_1 y S_2 en el Afloramiento de Muñico. Proyección de áreas iguales, contornos de 0,2, 1, 2, 4, 6 y 10 %.

En el Afloramiento de Ojos Albos-La Cañada (Capote y Fernández Casals, 1971, en prensa).

Esquistosidad S_1 .

—Esquistosidad de flujo que afecta incluso a todas las formaciones de la zona de la clorita actualmente visibles.

Esquistosidad S_2 .

a) Esquistosidad de fractura en la zona de la clorita, afectando al Llandeilo (Ordovícico Medio).

b) Esquistosidad de crenulación y strain-slip con micas orientadas en los planos, en la parte alta de la zona de la biotita.

c) Esquistosidad de flujo y a veces strain-slip en la parte baja de la zona de la biotita.

d) Foliación por debajo de la isograda Andalucía +. En ocasiones, S_1 es visible como arcos poligonales, pero en general sólo está conservada, muy esporádicamente, como esquistosidad interna recta en algunos porfiroblastos de biotita o de granate.

Estas esquistosidades y foliaciones varían de posición a lo largo del afloramiento, desde NW-ESE a dirección submeridiana en el Dominio Sur, al Sur de La Cañada (fig. 4).

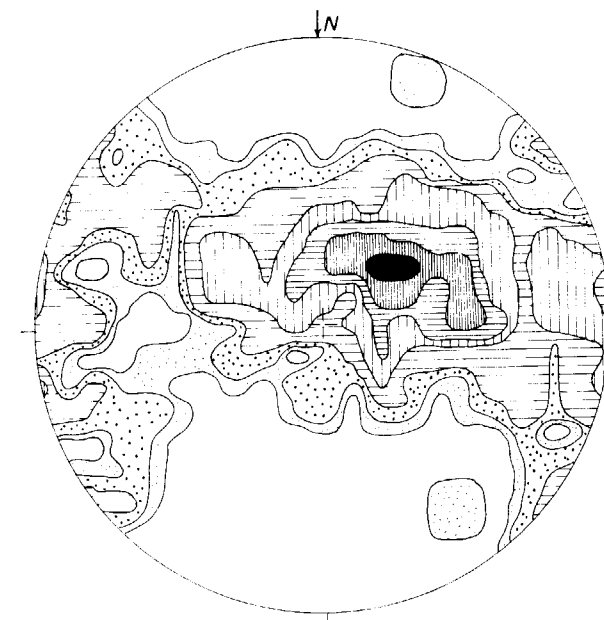


Figura 4

Posición de la esquistosidad y foliación S_1 y S_2 en el Dominio meridional del Afloramiento de Ojos Albos-La Cañada, al Sur de Valdihuelo. Proyección de áreas iguales, contornos de 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 y 7 %.

2.º Forman micropliegues similares en rocas pelíticas (fig. 5) y en muchas samíticas, esto último sobre todo en las partes bajas de las series. Son

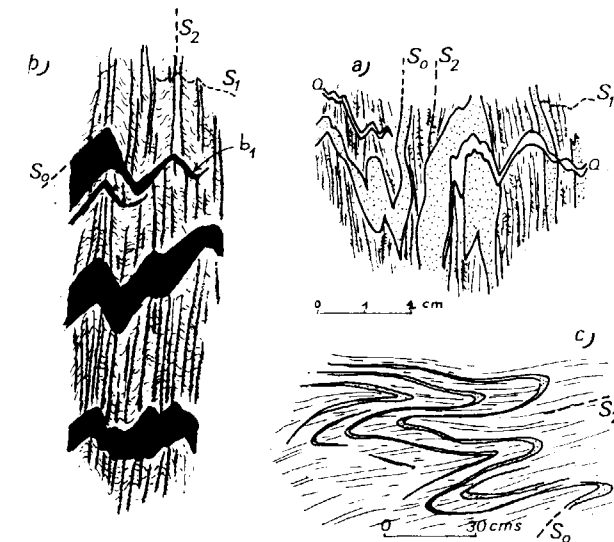


Figura 5

Ejemplos de micropliegues de las dos primeras fases. a) Micropliegues de segunda fase afectando a esquistos, grauvacas y venas de cuarzo. S_1 es una esquistosidad de flujo de la primera fase y S_2 , de la segunda, es de crenulación. Esquistos Cámbricos en las proximidades de Solana de Rioalmar (Aflor. de Muñico). b) Micropliegues muy agudos y esquistosidad de flujo de la fase primera, deformados por la fase segunda. Esquistos cámbricos del Afloramiento de Muñico entre los kilómetros 34 y 35 de la carretera de Gallegos de Sobrinos. c) Pliegues isoclinales tumbados, de escala decimétrica, en los Gneises pelíticos de la Cañada; Arroyo del Madero.

visibles, esporádicamente, pliegues en gancho de la fase primera (b_1). También originan micropliegues concéntricos en las series predominantemente samíticas del tramo superior cuarcítico del Arenig, en la zona de la clorita.

3.º Dan lugar a diversas lineaciones (minerales, de intersección, de estiramiento de cantos, rods de cuarzo), todas ellas subparalelas a los ejes de los pliegues:

Lineaciones de intersección entre S_1 y S_2 con la estratificación. En el Afloramiento de Muñico llevan direcciones similares, NW-SE, mientras que en el Dominio Sur del Afloramiento de Ojos Albos-La Cañada la posición de las mismas es más norteada (NNW-SSE) (fig. 6).

Lineaciones de estiramiento de clastos L_1 en conglomerados y cuarcitas. Los conglomerados de base del Ordovícico están estirados, con tres ejes diferentes (x , y , z), orientándose x según el eje geométrico b (paralelo a los ejes de los pliegues) (fig. 7).

Lineaciones minerales. Dadas localmente por la orientación del feldespato potásico de los augengneises y, con más frecuencia, por la andalucita, en los esquistos.

Macrotectónica

Como resultado de estas dos primeras fases se encuentra en el Dominio Norte del Afloramiento de Ojos Albos-La Cañada-Cebreros un sinclinal tumbado hacia el Norte (fig. 8). En el Afloramiento de Muñico la estructura es en tres escamas, las cuales forman parte, muy probablemente, de una megaestructura acostada también hacia el Norte.

II.2.2. Tercera fase.

Destaca la sencillez microtectónica de esta fase, que genera prácticamente sólo micropliegues, rods de cuarzo y, esporádicamente, esquistosidad. Esta S_3 es solamente visible como esquistosidad de crenulación y de fractura, muchas veces sólo incipiente, en el Afloramiento de Muñico, en las zonas de la clorita y de la biotita. En la zona con foliación S_1 y S_2 y en todo el Afloramiento de Ojos Albos-La Cañada-Cebreros no existe prácticamente S_3 y únicamente se encuentran pliegues b_3 afectando a las foliaciones anteriores. La dirección de estos micropliegues diverge claramente de las lineaciones L_1 y L_2 (Capote y Fernández Casals, 1971, en prensa). Las segregaciones de cuarzo en carnelas de pliegues b_3 dan lugar a estructuras tipo "rod".

Las macroestructuras más visibles de esta tercera fase se encuentran en el Afloramiento de Ojos Albos-La Cañada-Cebreros, donde corresponden a los anticlinorios y sinclinos submeridianos cartografiados.

II.2.3. Los movimientos tardíos.

Un conjunto de microestructuras tipo kink-band, muy visible en los esquistos de bajo grado de metamorfismo, puede referirse a una última fase de deformación muy suave, producida cuando todo el conjunto metamórfico se encontraba levantado hasta un nivel cortical alto, a la vez que esquistosado por las fases de deformación anteriores. Es en el Afloramiento de Muñico donde se encuentran mejor desarrollados y corresponden a una distribución de esfuerzos con el eje máximo en posición subhorizontal.

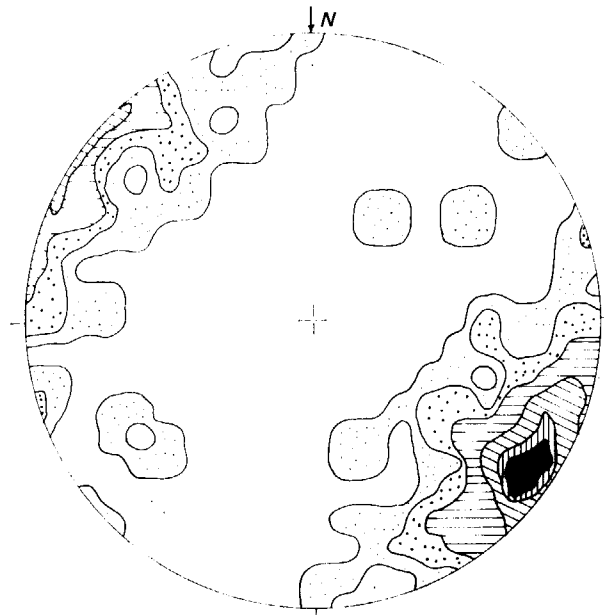


Figura 6

Posición de las lineaciones de intersección de esquistosidad y estratificación en el afloramiento de Muñico. Proyección de áreas iguales, contornos de 0,5, 1,5, 3,5, 7,5, 12, 15 %.

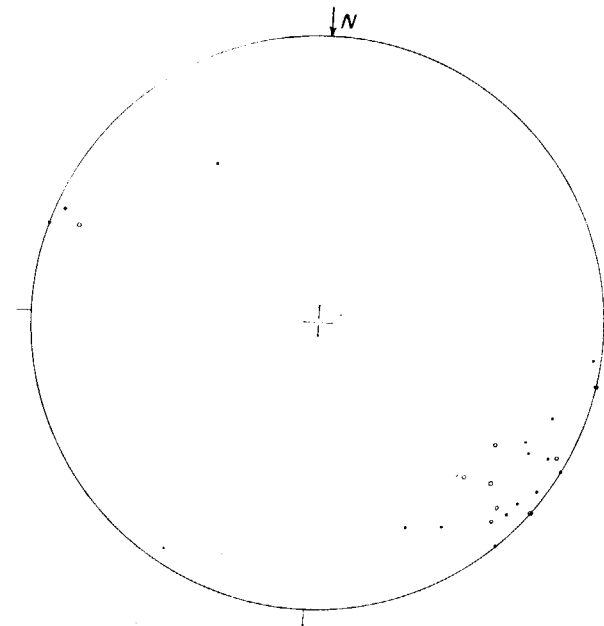


Figura 7

Orientación del eje largo de los cantos deformados del conglomerado de base del Ordovícico, en el Afloramiento de Muñico. Círculos abiertos, ejes largos de canto (lineación de estiramiento). Círculos negros, ejes de micropliegues de la primera fase.

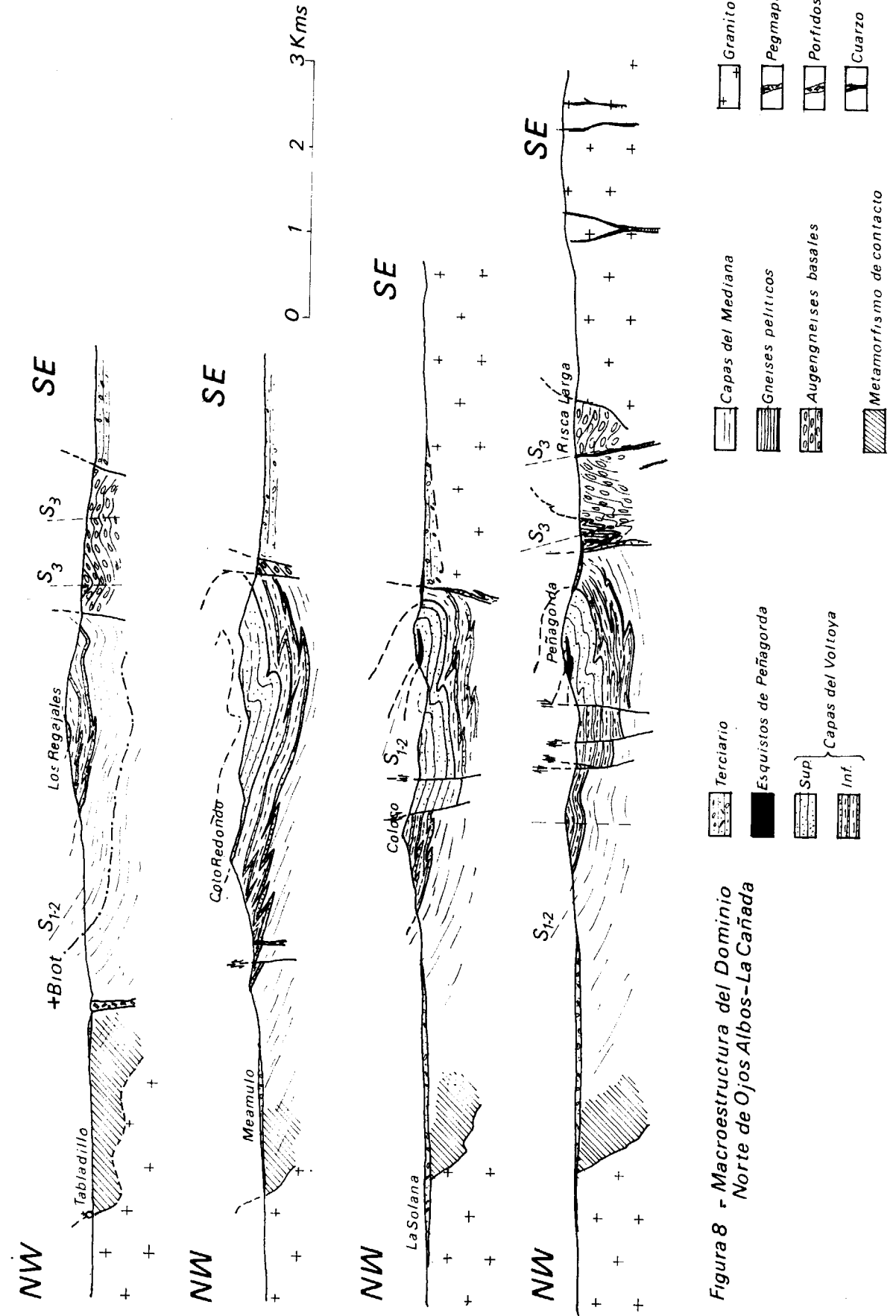


Figura 8 - Macroestructura del Dominio Norte de Ojos Albos-La Cañada

Figura 8
Macroestructura del Dominio Norte de Ojos Albos-La Cañada.

II.2.4. Relaciones entre las deformaciones hercínicas, el metamorfismo y el plutonismo.

El metamorfismo hercínico que afecta a los materiales descritos tiene una doble relación con las deformaciones de plegamiento:

a) Por un lado, el estilo de los pliegues y el mecanismo de la deformación son función de la intensidad de metamorfismo para un mismo tipo de roca premetamórfica y una fase de deformación dada. Según aumenta el metamorfismo, los mecanismos de deformación tienden a ser por fluencia pasiva, con aplastamiento en todas las rocas, mientras que en las partes altas de la serie, menos metamorfizadas, dicha fluencia pasiva afecta sólo a las rocas pelíticas y no a las cuarcíticas, que se deforman por flexodeslizamiento. El estilo de pliegues tiende a ser de tipo similar en todas las series, en las partes profundas, y en parte concéntrico en las cuarcitas ordovícicas, situadas en niveles más altos, aunque también en estas rocas es visible una esquistosidad de flujo por aplastamiento de granos detríticos de cuarzo. El metamorfismo influye, pues, definitivamente en el comportamiento de las rocas, en el sentido de disminuir su competencia según se pasa a zonas de mayor grado metamórfico.

b) La secuencia de cristalización metamórfica ha permitido, por correlación con las sucesivas fases de deformación, establecer el mecanismo íntimo de la deformación a escala de grupos de cristales, sirviendo incluso en algunas zonas para detectar, mediante análisis microtextural, alguna fase de deformación no visible a la escala del afloramiento. Dicho análisis microtextural ha permitido relacionar también el metamorfismo y el plegamiento en el tiempo, hecho muy importante para trazar la evolución geotectónica de un sector cortical. El metamorfismo comenzó durante la primera fase de deformación (fig. 9), continuó en la interfase S_1 - S_2 y se prolongó durante la segunda fase, alcanzándose entonces la máxima intensidad metamórfica en las zonas profundas. Las restantes fases (tercera y tardía), son postcristalinas respecto al metamorfismo regional progresivo, si bien las recristalizaciones tardías retrometamórficas se prolongaron después de la fase segunda.

Respecto a las rocas plutónicas, se han encontrado rocas granitoides de diferente composición mineralógica y emplazadas en diversos momentos, hecho que queda de manifiesto por sus características estructurales. Los granitoides más precoces están deformados por alguna fase, mientras que los

últimos prácticamente sólo están afectados por los movimientos tardíos posteriores a las tres fases principales. Se encuentran:

a) Neosomas migmatíticos sincrónicos con el metamorfismo (migmatitas del Dominio Sur del Afloramiento de Ojos Albos-La Cañada-Cebreros).

b) Rocas plutónicas muy deformadas (ortogneises de Gallegos de Sobrinos y de Sierra Yemas). Son rocas graníticas anteriores, por lo menos, a la

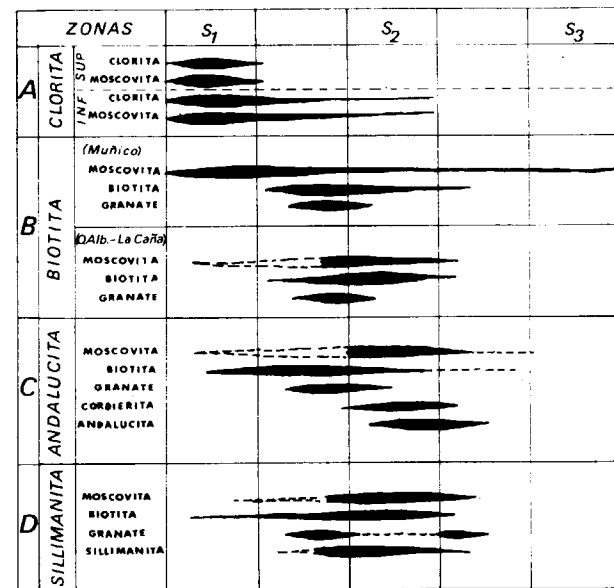


Figura 9

Relación temporal entre la cristalización metamórfica y las tres fases principales de deformación hercínica, para las zonas de la clorita, con biotita, con andalucita y con sillimanita.

fase segunda. Unas veces derivan de granitos alcalinos de dos micas (Gallegos) y otras de granitos biotíticos con abundante feldespato potásico (Sierra Yemas).

c) Rocas plutónicas claramente orientadas pero poco deformadas (granitos de dos micas de Sierra Yemas). Son granitos aparentemente ligados a la anatexia regional (minerales aluminicos como la sillimanita y la cordierita, facies pegmatítica de borde concordante con la foliación de la roca encajante, etc.) y emplazados, probablemente, antes de la tercera fase.

d) Rocas plutónicas tardías, claramente postectónicas (granodioritas biotíticas y gabros subordinados). Son rocas calcoalcalinas, principalmente granodioritas, sin aparente relación con el metamorfismo regional, intrusivas, precedidas por rocas microgranudas oscuras que aparecen ahora como enclaves

mesócratos. Su intrusión va acompañada de metamorfismo de contacto en las rocas encajantes y de la formación de un complejo filoniano, principalmente de diques de pórfidos cuarcíferos, aunque también hay de aplitas y, en mucha menor proporción, de lamprófidos.

Los granitos precoces, deformados, pueden ser equivalentes a la serie alcalina de Galicia (Capdevila y Floor, 1970) en nuestra región muy poco desarrollada, pues sólo está representada por los ortogneises de Gallegos de Sobrinos (Afloramiento de Muñico) y Sierra Yemas y por los granitos alcalinos de dos micas de Sierra Yemas. Las granodioritas tardías podrían equivaler a la serie calcoalcalina, aquí la dominante.

II.3. TECTÓNICA DE FRACTURACIÓN TARDIHERCÍNICA.

La región de Avila se encuentra cruzada por gran número de fallas y diques, de pórfido y cuarzo principalmente (fig. 10), que puede atribuirse a un período de fracturación tardío (Capote y Fernán-

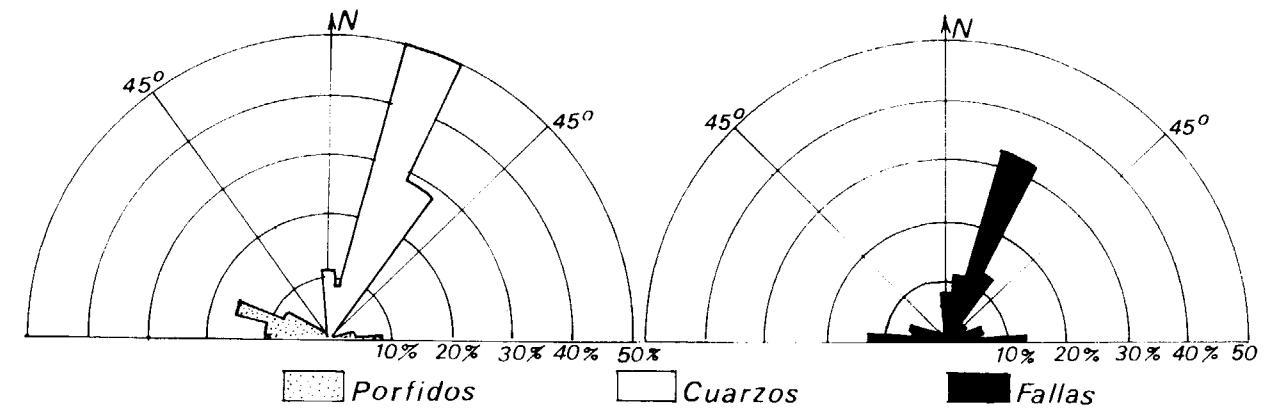


Figura 10

Diagramas mostrando las orientaciones dominantes de fallas, diques de pórfidos cuarcíferos y diques de cuarzo.

dez Casals, 1971, en prensa), el cual se inició posiblemente durante las fases finales del emplazamiento de plutones granodioríticos y se prolongó posteriormente, sin duda, durante cierto tiempo. Dicha época de fracturación la definimos como de edad tardihercínica, probablemente iniciada durante el Carbonífero Superior, en su parte final, y continuada durante el Pérmico.

La línea de fractura del Puerto de la Cruz de Hierro-Valle de Amblés funcionó como "décrochement" sinistral, como atestiguan la disposición de las estrías en el plano de falla (estrías que son de dos tipos, unas con escaso ángulo de pitch y otras, más próximas a la vertical, con pitch alto) y las

orientaciones y deformación de los sistemas de diques de cuarzo. Toda la región situada al Norte de esta línea de falla se movió hacia el Oeste respecto a la región del Sur. Muchas de estas antiguas fracturas tardihercínicas fueron reactivadas, y a veces deformadas, durante los tiempos alpínicos, predominando los movimientos en la vertical que dieron lugar a fosas rellenas con sedimentos neógenos.

III. EVOLUCION GEOTECTONICA DE ESTE SECTOR Y POSICION DENTRO DEL MACIZO HESPERICO.

A partir de los datos por nosotros obtenidos se puede dar, para este sector de la Cadena Hercínica, la siguiente evolución:

III.1. EVOLUCIÓN GEOSINCLINAL.

Sobre un substrato posiblemente granítico, de edad precámbrica, recubierto en parte por sus pro-

ductos de alteración y quizás rocas volcánicas ácidas, se produjo la transgresión cámbrica, depositándose una serie esquistoso-grauváquica marina con niveles carbonatados impuros y calizas. La sedimentación se inició a comienzos del Cámbrico Inferior y debió interrumpirse durante el Cámbrico Medio. Falta prácticamente un Precámbrico Superior esquistoso entre el viejo zócalo granítico y las series cámbricas, si bien un representante muy escaso pudieran ser los Gneises pelíticos de La Cañada. La sedimentación fue interrumpida por una serie de movimientos poco intensos, los movimientos sárdicos, que hicieron emerger la región. La transgresión ordovícica recomienza la sedimentación ma-

rina, con capas clásticas en el muro, incluso conglomerados de base, y posterior paso a facies pelíticas más profundas. No hay más datos referentes a la evolución geosinclinal, pero es seguro que hubo deposición de Silúrico y Devónico, como en otras áreas del Sistema Central.

III.2. EVOLUCIÓN TECTOGENÉTICA.

Pueden reconocerse dos etapas tectónicas diferentes:

a) Etapa de deformaciones por plegamiento ortotectónico.

—Los movimientos de plegamiento se iniciaron después del Devónico Inferior y se continuaron a lo largo de un período de tiempo desconocido, pero que debió de terminar antes del Estefaniense. Muy probablemente los movimientos sean de edad intrawestfaliense, tal como encuentra E. Martínez (1971), en Zamora.

—Las deformaciones se produjeron en tres fases diferentes, caracterizadas las dos primeras por el desarrollo regional de esquistosidad y por poseer vergencias centrífugas (hacia el Norte) respecto al área más intensamente metamórfica. Sincrónicamente con estas dos fases se produjo un metamorfismo regional progresivo del tipo de alta relación T/P (andalucita-cordierita-sillimanita).

—La fase tercera, postmetamórfica, pliega las estructuras anteriores y da lugar a las formas mayores cartografiadas.

b) Movimientos tardihercínicos de fracturación.

—Se iniciaron en los tiempos en que se produjeron las intrusiones más importantes de granitos y continuaron con posterioridad, dando lugar a grandes décrochamientos y a diversos sistemas de fallas y diques de pórfido y de cuarzo.

—Finalmente, durante los tiempos alpínicos, muchas de estas fallas fueron reactivadas con movimientos en la vertical.

III.3. MAGMATISMO.

—No existen rocas volcánicas reconocibles en las series paleozoicas. Respecto a las rocas plutónicas hercínicas predominan las ácidas, de sintectónicas o postectónicas. Unas son de origen más profundo (granodioritas tardías post-fase 3) y otras de niveles más superficiales (granitos alcalinos de dos micas, de precinemáticos a tardicinemáticos respecto a la fase 2).

—Esta abundancia de rocas plutónicas ácidas, la mayor parte procedentes de niveles profundos de la

corteza, indica el carácter eminentemente sílico de dicha corteza en este sector, hecho que podía esperarse teniendo en cuenta la existencia de los posibles granitos precámbricos y la ausencia de rocas efusivas básicas durante la evolución geosinclinal.

III.4. SITUACIÓN DEL SECTOR ESTUDIADO DENTRO DEL MACIZO HESPÉRICO.

Las características generales que acabamos de enunciar muestran la equivalencia de este sector, y en realidad de todo el Sistema Central, con la región de Galicia y NW de Portugal, constituyendo una misma zona alargada según la linealidad de la Cadena. Se trata de un umbral durante el Precámbrico Superior, que sólo comenzó a subsidir a partir del Cámbrico. La región de Avila por nosotros estudiada se situaría en la parte septentrional de dicho umbral, quedando la parte central más al sur, hacia Barco de Avila.

Las ascension del flujo térmico durante el metamorfismo hasta niveles estratigráficos más altos que en otras áreas centrales de la Península (Montes de Toledo, por ejemplo), pudiera explicarse admitiendo un "efecto de zócalo" semejante al descrito por Fonteilles y Guitard (1964) en el Pirineo.

Con posterioridad a la realización de nuestra tesis doctoral nos ha llegado un interesante trabajo de síntesis de Bard, Capdevila y Matte (1971), en el cual se considera también a este sector del Sistema Central como un umbral durante las primeras fases de la evolución del geosinclinal hercínico. Estamos de acuerdo con esta interpretación, aunque quizás habría que indicar que la serie cámbrica debe ser, en el Sistema Central, más potente de la que estos autores consideran, de forma que, en nuestra opinión, el Ordovícico transgresivo nunca se apoyaría sobre los gneises oclares tipo "Oilo de Sapo". Por otra parte, como ya hemos indicado, la región de Avila se situaría en la parte norte del umbral, y no en su borde meridional.

BIBLIOGRAFÍA

- BAFIN VICH, R. B.: *Estudio meso y microtectónico del macizo metamórfico de El Vellón*. "Bol. R. Soc. Española Hist. Nat." (Geol.), t. 69, núm. 1, págs. 5-27 (1971).
- BARD, J. P.; CAPDEVILA, R., y MATTE, Ph.: *Les grands traits stratigraphiques, tectoniques, métamorphiques et plutoniques des Sierras de Gredos et de Guadarrama (Espagne Central)*. "C. R. Acad. Sc., París", T. 279, págs. 2630-2633 (1970).

- BARD, J. P.; CAPDEVILA, R., y MATTE, Ph.: *La structure de la chaîne Ibérique: Comparaison avec les segments voisins*. "Histoire Structurales du Golfe de Gascogne". T. 1, págs. 1.4-1.1.4. 68 (1971).
- CAPDEVILA, R., y FLOOR, P.: *Les différents types de granites hercyniens et leur distribution dans le nord ouest de l'Espagne*. "Bol. Geol. y Min.", T. LXXXI-II-III, págs. 215-225 (1970).
- CAPOTE, R., y VEGAS, R.: *El Paleozoico de los alrededores de Avila*. "Estudios Geológicos", Vol. XXIV, páginas 181-189 (1968).
- 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. Española Hist. Nat." (Geol). T. 69, número 2, págs. 175-185 (1971).
- CAPOTE, R.: *Estudio geoestructural de los afloramientos metamórficos del Norte de la provincia de Avila*. Tesis Facultad Ciencias. Univ. Complutense. Madrid, 289 páginas, 110 figuras, 3 mapas (1971).
- CAPOTE, R., y FERNÁNDEZ CASALS, M. J.: *Rasgos tectónicos de las formaciones metamórficas de Ojos Albos-La Cañada (Prov. de Avila)*. (En prensa.) I Cent. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (1971).
- DE LA CONCHA, S.: *Explicación de la hoja núm. 485, Valdepeñas de la Sierra (Madrid, Guadalajara)*. "Inst. Geol. y Min. de Esp." (1962).
- FERNÁNDEZ CASALS, M. J., y CAPOTE DE VILLAR, R.: *Los gneises glandulares del Guadarrama Oriental*. "Bol. R. Soc. Española de Hist. Nat." (Geol). T. 69, núm. 1, págs. 69-80 (1971).
- FERNÁNDEZ CASALS, M. J., y CAPOTE DEL VILLAR, R.: *La tectónica paleozoica del Guadarrama en la región de Buitrago del Lozoya*. "Bol. Geol. y Min. T. LXXXI-VI, págs. 625-568 (1970).
- FONTEILLES, M., y GUITARD, G.: *L'effet de socle dans le métamorphisme hercynien de l'enveloppe paléozoïque des gneiss des Pyrénées*. "C. R. Acad. Sc. Paris". T. 258, págs. 4299-4302 (1964).
- FUSTER, J. M.^a, y MORA PEÑA, A.: *El carácter del metamorfismo en el macizo de La Cañada (Sistema Central Español)*. "Estudios Geológicos", Vol. XXVI, páginas 317-321 (1970).
- FUSTER, J. M.^a, y GARCÍA CACHO, L.: *Sobre el metamorfismo regional progresivo en el Guadarrama oriental (Sistema Central Español)*. "Estudios Geológicos", Volumen XXVI, págs. 327-329 (1970).
- HEIM, R. C.: *Metamorphism in the Guadarrama*. "Tesis Univ. Utrecht", 69 págs. (1952).
- LOTZE, F.: *Einige Probleme der Iberischen Meseta*. "Geotek. Forsch", 6, págs. 78-92. Berlín (1945).
- LOTZE, F.: *Über sardische Bewegungen in Spanien und ihre Beziehungen zur assyntischen Faltung*. "Geotekt., Symp. Z. ur Ehren von H. Stille", págs. 128-139 (1956).
- MARTÍN DONAYRE, F.: *Bosquejo geológico de la provincia de Avila a escala 1:400.000*. "Mem. Inst. Geol. y Min. de España". (1879).
- MARTÍNEZ GARCÍA, E.: *Esquema geológico del Noroeste de la provincia de Zamora (NW España)*. "I Congr. Hispano-Luso-Americano de Geología Económica". T. I, págs. 273-286 (1971).
- PARGA PONDAL, I.; MATTE, PH., y CAPDEVILA, R.: *Introduction a la geologie de "l'Oilo de Sapo". Formation porphyroide antesilurienne du nord oueste de l'Espagne*. "Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de Esp.", número 76, págs. 119-154 (1964).
- PARGA, J. R.: *Sistemas de fracturas tardihercínicas del Macizo Hespérico*. "Geol. Rundschau", vol. 59, número 1, págs. 323-336 (1969).
- PARGA, J. R., y VEGAS, R.: *Problems and discussion on Precambrian Series of the Hesperic Massif (Western Iberian Peninsula)*. "Geol. Rundschau", 61-1, págs. 44-69, Stuttgart (1971).
- PEINADO MORENO, M.: *Carácter del metamorfismo en el macizo metamórfico de El Escorial-Villa del Prado (Sistema Central Español)*. "Estudios Geológicos", volumen XXVI, págs. 323-326 (1970).
- PRADO, C. DEL: *Reseña geológica de la provincia de Avila y de la parte occidental de la de León*. "Mem. del Inst. Geol. y Min. de Esp." (1862).
- RIBEIRO, A., y ALMEIDA REBELO, J.: *Problèmes stratigraphiques et tectoniques de Trás-os-Montes oriental*. "Com. Serv. Geol. Portugal", T. LIII, págs. 101-105 (1969).
- SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, M., y GARCÍA DE FIGUEROA, L. C.: *Explicación de la hoja número 532, Las Navas del Marqués (Avila, Segovia, Madrid)*. "Inst. Geol. y Min. de Esp." (1960).
- SCHAFER, G.: *Geologie und Petrographie in östlichen Kastilischen Hauptscheidegebirge (Sierra de Guadarrama, Spanien)*. "Munst. Forch. Geol. Palaönt", H. 10, 207 páginas (1969).
- SOMMER, W.: *Stratigraphie und tektonik in östlichen Guadarrama-Gebirge (Spanien)*. "Münst. Forsch. Geol. Palaönt, H. 1, 159 págs. (1965).

Recibido: Marzo de 1973.

Programa de computador para el cálculo granulométrico por medio del análisis con el hidrómetro

por A. MALDONADO (*), O. RIBA (**) y R. SOLE (***)

RESUMEN

Se describe un programa PL/I de computador para el cálculo granulométrico de distribución de porcentajes tamaño de grano y parámetros granulométricos, a partir de los resultados obtenidos por análisis con el método del hidrómetro. El análisis hidrométrico se completa con el tamizado de la fracción superior a 50 μm . En conjunto, se obtiene la distribución completa de tamaño de grano para cualquier tipo de muestra.

SUMMARY

A PL/I program is presented for the calculation of sediment size distribution and grain-size parameters, starting from the results obtained by the hydrometer method for particle size analysis. The hydrometer method is accomplished with dry sieving for larger particles than 50 μm . It gives the complete size distribution for any clastic deposits.

I. INTRODUCCIÓN.

El cálculo granulométrico de distribución de porcentajes de tamaño de grano para las muestras que contienen fracción fina, inferior a 50 μm , requiere una gran cantidad de tiempo, tanto para el análisis de laboratorio como para los tediosos cálculos de la distribución de porcentajes. Uno de los métodos no automáticos que resulta de una mayor rapidez es el del análisis por hidrómetro. Para la mayoría de los autores, este método es menos preciso que el de la pipeta; sin embargo, a su favor tiene una notable mayor facilidad de manejo, para una preci-

sión muy aceptable. La necesidad de tener que realizar un gran número de análisis de sedimentos detríticos, conteniendo fracción fina, nos ha inducido a emplear este método, por su mayor facilidad de utilización, dado que para los cálculos estadísticos a los que se destinan este tipo de análisis, es difícil de diferenciar entre la precisión de uno y otro método.

Para este estudio se ha realizado un programa de computador, con el que se obtiene el diámetro de las partículas en micrómetros y unidades phi, así como los porcentajes acumulativos correspondientes a cada diámetro equivalente. Asimismo, con estos datos, el computador, calcula los parámetros granulométricos de más corriente uso, tal como se detalla en los apartados siguientes. Un programa algo similar, en Algol, ha sido publicado por Buchan, Jones y Simpkin (1970).

La técnica de análisis y método de preparación del material para su estudio ha sido básicamente la recomendada por la British Standards Institution:

B. S. 1377, Test 7 (D) (1968), con ligeras modificaciones (Maldonado, 1972).

II. CÁLCULO DE PORCENTAJES.

A) Diámetro equivalente.

El diámetro equivalente de las partículas a la cual realiza la medida de densidad de la suspensión depende de cada sistema cilindro/hidrómetro empleado, del tiempo al que se hace la lectura y de las condiciones del experimento. Dicho diámetro se calcula por la fórmula de Lambe (1951).

$$D = \sqrt{\frac{H_r}{T}} \cdot \sqrt{\frac{1800 \cdot z}{(G_s - d)g}}$$

donde:

D=diámetro efectivo (mm.).

H_r =distancia de su superficie de la suspensión al nivel donde se mide la densidad (cm.). Se denomina *altura efectiva*.

T=intervalo de tiempo de la toma de la lectura (seg.).

z=viscosidad del fluido de sedimentación (poises).

G_s =densidad de las partículas de la suspensión (g/cm^3).

d=densidad del fluido (g/cm^3).

g=aceleración de la gravedad (cm/seg^2).

Hay varias tablas para la resolución gráfica o numérica de esta fórmula: British Standards 1377: 1967, T. 7 (D); American Standards: D. 422-54 T (1954). Cualquiera de los métodos que se siga hace perder mucho tiempo, siendo, además, muy laborioso. En consecuencia, se ha realizado un programa de ordenador, con el que se resuelve la ecuación en varios pasos, tal como se detalla a continuación.

Altura efectiva: H_r .

Depende del hidrómetro empleado. Se calcula según las normas de la B. S. 1377. Para cada hidrómetro se obtiene una ecuación de la forma

$$H_r = -a \cdot R_h + K,$$

donde

a y K son constantes para cada hidrómetro.

R_h es la lectura del hidrómetro en g/litro.

Se han utilizado unos hidrómetros (densímetros) para suelos de la casa Proton, de Barcelona, construidos según las normas internacionales. Los valores obtenidos para los hidrómetros empleados son:

a=0,187; K=18,49, para el hidrómetro núm. 76
a=0,175; K=18,42, para el hidrómetro núm. 72

Viscosidad: z.

El líquido empleado para la sedimentación ha sido agua destilada. A partir de las tablas de la viscosidad dinámica (absoluta) del agua, por el método de los mínimos cuadrados, se ha obtenido la siguiente ecuación de tipo parabólico para la viscosidad en poises del agua en función de la temperatura:

$$z = (100,54 - 12,604 x + 1,24 x^2) \cdot 10^{-4}$$

donde

$$x = \frac{t_a \cdot ^\circ\text{C} - 20}{5}$$

La densidad del agua y la aceleración de la gravedad se han tomado como constantes, con valores de 1 y 980,7, respectivamente.

La densidad de las partículas de la suspensión se puede determinar experimentalmente (B. S. 1377: 1967, Test 6, A y B) o suponerla con un valor medio de 2,65.

B) *Porcentaje del sedimento en suspensión correspondiente a D.*

El porcentaje ponderal de partículas en suspensión, al nivel que se mide la densidad, menores que el diámetro efectivo correspondiente, se calcula a partir de la siguiente fórmula (normas de la ASTM, D. 422-54T, para el hidrómetro 152 H, modificada):

$$p = \frac{(R_h - b) \cdot k + M_t - C}{W_b} \cdot 100$$

donde

— b es un factor de corrección para cada hidrómetro, y que se obtiene por la lectura del hidrómetro en agua destilada a 20° C. Para los hidrómetros núms. 68, 76, 77 y 78 es de 1,77 g/litro.

— K es un factor de corrección para la densidad de las partículas de la suspensión para

(*) Departamento de Estratigrafía y Geología Histórica. Universidad de Barcelona. Becario de la Fundación "Juan March".

(**) Departamento de Estratigrafía Histórica. Universidad de Barcelona.

(***) Laboratorio de Cálculo. Universidad de Barcelona.

cuando la densidad es diferente de 2,65. A partir de las tablas de la ASTM se obtiene una ecuación lineal, que es la siguiente: $k = -0,2 G_s + 1,53$.

- M_t es un factor de corrección de la temperatura de la suspensión. De las tablas de la B. S. 1377:1967, se ha comprobado que M_t no es función parabólica ni lineal de la temperatura, por lo que es difícil calcular la ecuación y hay que recurrir a las tablas de valores. Estas han sido introducidas en el programa.
- C es un factor de corrección que depende del agente dispersante y modo de realizar la dispersión. Se puede obtener leyendo directamente en la solución con el agente dispersante, o bien calculándolo por el método de preparación. Para todos los ensayos realizados fue 2,5 g/litro (100 cc. de una solución de pirofosfato sódico, con concentración de 25 g/litro).
- W_b es el peso total de la muestra seca puesta en suspensión, una vez eliminadas las sales solubles y la materia orgánica.
- R_n , como se ha indicado, es la lectura del hidrómetro en g/litro, con la corrección de menisco aplicada.

C) Construcción de la curva acumulativa.

Con los datos obtenidos en A y B se conoce el tanto por ciento total acumulativo de muestra con un diámetro menor que el correspondiente D. Restando dos valores cualesquiera obtenidos por toma de lecturas de densidad a los intervalos de tiempo T_1 y T_2 se obtiene el porcentaje ponderal de la muestra comprendido entre los diámetros equivalentes D_1 y D_2 .

Con estos datos y los obtenidos por tamizado de la fracción superior a 50 μ m. se pueden calcular todos los porcentajes acumulativos correspondientes a los tamaños de grano que se conocen, en función de número de tomas, y realizar la curva acumulativa de distribución de tamaños de grano.

III. PROGRAMA DE ORDENADOR.

Se ha utilizado el ordenador del Laboratorio de Cálculo de la Universidad de Barcelona, tipo IBM 360/30. Utiliza 64 K de memoria.

El programa se ha escrito en lenguaje PL/I, para la versión del PL/I Dos "Optimizing Compiler, de que dispone dicho laboratorio.

En las tablas 1 y 2 se esquematizan los datos de entrada del programa, para la resolución de la ley de Stokes, cálculo de los porcentajes y parámetros

TABLA 1
Datos de entrada

1. Código del experimento (núm. de muestra)	'xxxxxx',	(alfa-numérico)
2. Identificador del hidrómetro	'xx'	(numérico)
3. Densidad de las partículas: G_s	xxx.xxx,	(numérico)
4. Número de lecturas con el hidrómetro	xx,	(numérico)
5. Idem de los tamices	xx,	(numérico)
6. Factor de corrección C	xx.xx,	(numérico)
7. $\left[\begin{matrix} n \\ \text{veces} \end{matrix} \right]$ Temperatura °C/tiempo en min./lectura del hidrómetro	xx.x,xxx,xx.x	(numérico)
8. $\left[\begin{matrix} n \\ \text{veces} \end{matrix} \right]$ Identificador de tamiz/peso recogido en gramos	xx,xx.xxx,	(numérico)
9. Dimensiones de tamices que no han sido identificados en prog. en mic. xxxx,		(numérico)
Nota.—Cuando se emplean tamices que no han sido identificados, se perfora en el indicador 00, y a continuación el peso retenido. Al final de los datos de entrada, después de 8, se perforan los diámetros en micras de los tamices no identificados, en el mismo orden de entrada.		
Si en el experimento no se han efectuado lecturas con el densímetro, el peso de la fracción más fina acumulada en el fondo de la pila de tamices, se perfora como retenida por un tamiz hipotético de diámetro muy fino, por ej., de 1 μ m.		
10. Datos del siguiente problema.		

TABLA 2
Proceso del programa de computador

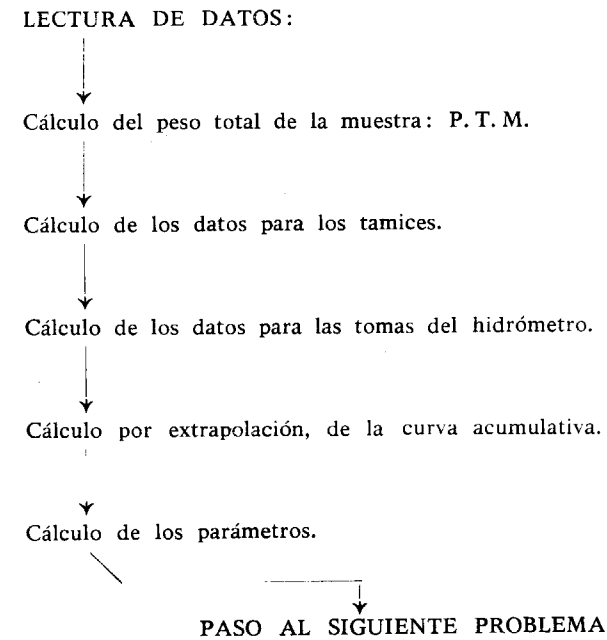


TABLA 3
Número de identificación y diámetro de tamices

	Núm.	En μ m.
Fracción A	01	2.500
	02	2.000
	03	1.600
	04	1.250
	05	1.000
	06	800
	07	630
	08	500
	09	400
Fracción B	10	315
	11	250
	12	200
	13	160
	14	125
	15	100
Fracción C	16	90
	17	80
	18	71
	19	63
	20	56
	21	50
	22	45
	23	40

y el procesado del programa por el computador, respectivamente. En la tabla 3 se representa el número de identificación y diámetro de los tamices generalmente utilizados.

En la tabla 4 se da el listado del programa.

TABLA 4
Listado del programa de computador

Stmt	Lev	Nt
1		Cálculos para la aplicación de la ley de Stokes a análisis hidromet. estrat. Proc. options (main).
2	1	DCL. AAA FIXED (4, 3), BBB FIXED (4,2), DCL /* Declaraciones de dicheros. lectora =STD= Sysin */ P print env (merium (syslst) F resize (121) buffers (2)), Sysin env (medium (sysipt) F resize (80) buffers (2)), 1 TIT1, /* Línea de cabecera */ 2X1 char (13) INIT ('Estratigrafía'), 2X2 char (21) INIT ('Análisis Hidrométrico'), 2 code char (10), /* Código del experimento */ 2 hidro char (2), /* Identificador del Hidrómetro */ TIT 2 char (91) INIT ('núm. datos-dit. temp, lect) o (peso, id). Micas. PHI % peso'), (Matpeso (22), Matmicr (22), Matphi (22)) Fixed (7, 3), Coef (22) Fixed (3) Static Init (10, 15, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 84, 85, 90, 95, 99, 100), (Matlog (80), Matlogm (80), B8, A1, A2, A3, A4, A5, A6) Dec Float, CCC Fixed (3,2), /* Constantes función del hidrómetro para el cálculo de Hr*/ Matid Char (60) Static Init ('72 76"), /*Identificadores*/ /*A medida que vayan introduciéndose nuevos*/ /*Debe ampliarse el Init dejando siempre un*/ /* " Entrd 2 identificadores para evitar e-*/ /*rrroses en la función incorporada Index */ Matka (20) Fixed (4, 3) Static Init (0.175, 0.187), /* Esel valor de la pendiente de la función Hr*/ /* La interiorización de nuevos hidrómetros*/ /* Se efectúa también alterando la Init*/ Matkb (20) Fixed (4, 2) Static Init (18.42, 18.49), /* Es el valor de la ordenada*/ Matkk (20) Fixed (3,2) Static Init (1.77, 1.77), (H1, H) Bin Fixed, /*Iniciación de los tamices*/

Stmt	Lev	Nt	Stmt	Lev	Nt
			31	1	CCC=Matkk (I), /* Lectura de las diferentes tomas del hidrómetro */
			32	1	DO J=1 TO NHI,
			33	1	1 GET List (temp (J), tiem (J), lect (J)),
			34	1	1 End., /* Lectura de identificadores y sedimentos de los tamices */
			35	1	Donhi,
			36	1	1 DO J=1 TO NT,
			37	1	1 GET list (Matide (J), Mattawg (J)),
			38	1	1 End.,
			39	1	1 L=30,
			40	1	1 DO J=1 TO NT,
			41	1	1 IF Matide (J)=0 then Do,
			42	1	2 Matide (J)=L,
			43	1	2 Get List (Mattadi (L)), L=L+1, end., end.,
			44	1	1 IF NT NE o Then do J=1 to (NT-1),
			45	1	1 Mattawg (J+1)=Mattawg (J)+Mattawg (J+1),
			46	1	1 End.,
			47	1	1 IF ((NHI NE O) and (NT NE O)) Then do,
			48	1	1 Wcurva (1)=Funcp (Temp (1), Lect (1), Peg, Ptg, y, Matrimt, CCC),
			49	1	1 Wcurva (2)=Funcp (Temp (2), Lect (2), Peg, Ptg, y, Matrimt, CCC),
			50	1	1 A1=-Log 2 (Wcurva (1)),
			51	1	1 A2=-Log 2 (Wcurva (2)),
			52	1	1 Wmicra (1)=Funcd (Tiem (1), Temp (1), Lect (1), PEG, AAA, BBB),
			53	1	1 Wmicra (2)=Funcd (Tiem (2), Temp (2), Lect (2), PEG, AAA, BBB),
			54	1	1 A3=-Log 2 (Wmicra (1)/1000),
			55	1	1 A4=-Log 2 (Wmicra (2)/1000),
			56	1	1 A5=-Log 2 (Mattadi (Matide (NT))/1000),
			57	1	1 B8=(A2-A1)/(A4-A3),
			58	1	1 A6=A1(A5-A3)*B8,
			59	1	1 PTG=2**(-A6)+Mattawg (NT),
			60	1	1 Edén,
			61	1	1 ELSE IF NHI=0 Then PTG=Mattawg (NT),
			62	1	1 ELSE PTG=Funcp (Temp (1), lect (1), PEG, PTG, y, Matrimt, CCC),
			63	1	1 /* Impresión de las líneas de cabecera */
			64	1	1 PUT FILE (P) Page line (3) Edit (TIT1) (Column (5), A (25), A (31), A (10), A (2)),
			65	1	1 PUT FILE (P) SKIP (2) Edit (PTG, PEG, NUMH, NUMT, y) (2 (F(7,3), X(6)), 2 (F(2), X(8)), F(3,1)),
			66	1	1 PUT FILE (P) SKIP (2) EDIT (TIT2) (A(91)),
			67	1	1 HI=50,
			68	1	1 /* Calculos referentes a los tamices */
			69	1	1 DO J=1 TO NT,
			70	1	1 H=Matide (J),
			71	1	1 If Mattadi (H) NI Mattadi (HI) Then display ('no secuencia tamices' Cat Code),
			72	1	1 ELSE HI=H,
			73	1	1 SOLNHL. Pes (J)=Mattawg (J) *100/PTG,
			74	1	1 Put File (P) Skip (1) Edit (J, Mattawg (J), Matide (J), Mattadi (H), -Log 2 (Mattadi (H)/1000), 100-PES (J)) (Column (1), F(2), F(16,3), X(2), F(2), X(25), F(9,2), 3 (X(12), F(6,2)))
			75	1	1 End., /* Cálculos referentes a las lecturas en el hidrómetro */
			76	1	1 /* Preparación del campo PES (U) para la regularización */
			77	1	1 IF (NT=0) OR (NHI=0) then Goto XX,
			78	1	1 /* Impresión de línea de conceptos */

Stmt	Lev	Nt	Stmt	Lev	Nt
			77	1	1 Put File (P) Page ,
			78	1	1 Put File (P) Skip (2) Edit (PTG, PEG, NUMH, NUMT, y) (2 (F(7,3), X(6)), 2 (F(2), X(8)), F(3,1)),
			79	1	1 Put File (P) Skip (2) Edit (TIT2) (A(91)),
			80	1	1 XX. DO J=1 TO NHI,
			81	1	1 Wmicra (J)=Funcd (Tiem (J), Temp (J), Lect (J), Peg, AAA, BBB),
			82	1	1 Wcurva (J)=Funcp (Temp (J), Lect (J), Peg, PTG, y, Matrimt, CCC),
			83	1	1 Put File (P) Kclip (2) Edit (J, Tiem (J), Temp (J), Lect (J), Wmicra (J), -Log 2 (Wmicra (J)/1000), Wcurva (J)) (Column (1), F(2), F(10), F(9,1), F(10,2), X(15), 3 (F(10,3), X(10))),
			84	1	1 End.,
			85	1	1 Put File (P) Page.,
			86	1	1 Put File (P) Edit ('Peso', 'Micras', 'PHI') (Colmn (1), 3 (X(20), A(7))),
			87	1	1 MATLOG=0,
			88	1	1 MATLOGM=0, /* formación de datos de la curva */
			89	1	1 IX=NHI+1,
			90	1	1 DO II=1 TO NHI,
			91	1	1 IW=IX-II,
			92	1	1 TTLOG (II)=Wcurva (IW),
			93	1	1 TTLOGM (II)=Wmicra (IW),
			94	1	1 MATLOG (II)=-Log 2 (Wcurva (IW)),
			95	1	1 MATLOGM (II)=-Log 2 (Wmicra (IW)/1000),
			96	1	1 End.,
			97	1	1 IF NT=0 Then goto NTO,
			98	1	1 IF (NHI=0) and (Mattadi (Matide (NT))=1) Then NT=NT-1,
			99	1	1 IX=NHI+NT+1,
			100	1	1 DO II=(NHI+1) TO (NHI+NT),
			101	1	1 IW=IX-II,
			102	1	1 TTLOG (II)=100-PES (IW),
			103	1	1 TTLOGM (II)=Mattadi (Matide (IW)),
			104	1	1 MATLOG (II)=-Log 2 (TTLOG (II)),
			105	1	1 MATLOGM (II)=-Log 2 (TTLOGM (II)/1000),
			106	1	1 End.,
			107	1	1 NTO.,
			108	1	1 IX=II-1,
			109	1	1 /* Rutina de cálculo de coeficientes especiales e impresión de los datos de la curva */
			110	1	1 I=1,
			111	1	1 L=1,
			112	1	1 COMP. IF COEF (I)=TTLOG (J) THEN DO,
			113	1	1 IF COEF (I)=100 THEN GOTO COEFESP,
			114	1	1 ELSE I=I+1,
			115	1	1 Goto compa.,
			116	1	1 END.,
			117	1	1 ELSE DO,
			118	1	1 IF COEF (I) GT TTLOG (J) THEN DO,
			119	1	2 ES100. CALL A100.,
			120	1	2 J=J+1,
			121	1	2 IF J GT IX Then Ttlog (J)=100.,
			122	1	2 Goto compa.,
			123	1	2 END.,
			124	1	2 ELSE DO,
			125	1	2 IF COEF (I)=100 THEN GOTO ES100.,
			126	1	2 II=J,
			127	1	2 IF J=1 THEN IW=2.,
			128	1	2 ELSE IW=J-1.,
			129	1	2 IF J=IX+1 THEN II=J-2.,
			130	1	2 Dato=reg 3 (Matlog, Matlogm, IW, II, -Log 2 (Coef (I))),
			131	1	2 Matpeso (I)=Coef (I),
			132	1	2 Matmicr (I)=2**(-Dato)*1000.,
			133	1	2 Matphi (I)=Dato.,
			134	1	2 Put File (P) Edit (Matpeso (I), Matmicr (I), Dato) (Column (1), 3 (X(20), F(9,3))),
			135	1	2 I=I+1,
			136	1	2 Goto compa.,
			137	1	2 END.,
			138	1	1 A100. Proc.,
			139	2	1 IF TTLOGM (J) GT MIC (L) THEN DO.,
			140	2	2 II=J.,
			141	2	2 IF J=1 THEN IW=2.,
			142	2	2 ELSE IW=J-1.,
			143	2	2 IF J=(IX+1) THEN II=J-2.,
			144	2	2 Dato=Reg 3 (Matlogm, Matlog, IW, II, -Log 2 (MIC (L)/1000)),
			145	2	2 Put File (P) Edit (2**(-Dato), Mic (L), -Log 2 (MIC (L)/1000)) (Column (1), 3 (X(20), F(9,3))),
			146	2	2 L=L+1.,
			147	2	2 END.,
			148	2	1 Put File (P) Edit (TTLOG (J), TTLOGM (J), MATLOGM (J)) (Column (1), 3 (X(17), F(10,3))),
			149	1	1 END.,
			150	1	1 Reg 3. Proc (A, B, IZ, IY, C),
			151	2	1 DCL (A(80), B(80))
			152	2	1 B8=(B(IZ)-B(IY))/(A(IZ)-A(IY)),
			153	2	1 RETURN (B(IY)+(C-A(IY))*B8),
			154	1	1 END.,
			155	1	1 COEFESP.,
			156	1	1 TTLOG (1)=SQRT (MATMICR (15)/MATMICR (5)),
			157	1	1 TTLOG (2)=Log 2 (TTLOG (1)),
			158	1	1 TTLOG (4)=MATMICR (15) *MATMICR (5), TTLOG (5)=MATMICR (10)**2.,
			159	1	1 TTLOG (3)=TTLOG (4)/TTLOG (5),
			160	1	1 TTLOG (5)=(MATMICR (15)-MATMICR (5))/2.,
			161	1	1 TTLOG (6) = (MATPHI (3) - MATPHI (17))/2.,
			162	1	1 TTLOG (7)=MATMICR (15)/(2*(MATMICR (19)-MATMICR (1))),
			163	1	1 TTLOG (8)=(MATPHI (17)+MATPHI (3))/2.,
			164	1	1 TTLOG (4)=(TTLOG (8)-MATPHI (10))/TTLOG (6),
			165	1	1 DO I=1 TO 8.,
			166	1	1 Put File (P) Edit (Matit ,I), TTLOG (I) (Column (25), A(30), F(9,3)),
			167	1	1 END.,
			168	1	1 Put File (P) Edit ('fin de problema') (Column (10), A(30)), Goto AACC., /*Función que calcula el dámetro equivalente*/
			170	1	1 Funcd. Proc (A, B, C, D, E, F),
			171	2	1 DCL A Fixed (4), B Fixed (3,1), C Fixed (4,2), D Fixed (6,3), E Fixed (4,3), F Fixed (4,2), H Fixed (3,2), (K, L) Fixed (7,4), I.,
			172	2	1 H=(B-20)/5.,
			173	2	1 L=100.54-12.604*H+(1.24*H*H),
			174	2	1 L=L*1.8354.,

```

Stmt Lev Nt
175 2 L=L/(D-1),
176 2 K=F-E*C,
177 2 K=K/(A*.6),
178 2 Return (Sqrt (K*L)),
179 2 END,
180 1 Funcp.. Proc (A, B, C, D, E, Matri, T),
181 2 DCL B Fixed (3,1),
      T Fixed (3,2),
      A Fixed (4,2),
      ABA Fixed (4,2),
      (C, D) Fixed (6,3),
      E Fixed (2,1),
      B4 Fixed (3,2),
      B3 Fixed (5,3), B2 Fixed (6,3),
      B1 BIN Fixed (15),
      Matri (41) Fixed (4,3),
182 2 IF (B GT 30) OR (B LT 10) THEN DO..
183 2 1 Display ('Temp. Fuera de Tabla'),
184 2 1 Goto ERR,,
185 2 1 END,,
186 2 B1=2*(B-10)+1,,
187 2 B4=(Matri (B1+1)-Matri (B1))*2*Mod
      (B, 0.5),
188 2 ABA=(A-CCC)*KK,,
189 2 IF B GT 20 THEN B2=(ABA+MATRI
      (B1)+B4-E),
190 2 ELSE B2=(ABA-MATRI (B1)+B4-E),
191 2 RETURN (B2*100/D),
192 2 END,,
193 1 ERR.. Display (CODE CAT 'Datos erró-
      neos'),
194 1 CODE=' ',
195 1 ICANC=ICANC+1,,
196 1 IF ICANC=5 THEN STOP,,
197 1 On conversión Goto BB44,,
198 1 BB44.. GET LIST (CODE),
199 1 /*196*/ HIDRO=CODE,,
200 1 IF INDEX (MATID, HIDRO) NE O THEN
      GOTO BB44,,
201 1 On Conversión Goto ERR,,
202 1 Goto Volterr,,
203 1 END,, /*Fin del programa*/
    
```

III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

1. Cálculo del peso total de la muestra: P.T.M.

- a) Sólo se han introducido datos de los tamices P.T.M.=Σ pesos recogidos en tamices.
- b) Sólo se han introducido datos de tomas con ei hidrómetro:

$$P.T.M.=(R_h-b) \cdot k+M-C,$$

donde

R_h es la lectura correspondiente a la primera toma de densidad con el hidrómetro, suponiendo que en ésta toda la muestra se encontraba en suspensión.

- c) Se han introducido ambos tipos de datos

$$P.T.M.=A+B,$$

donde

A=Σ pesos recogidos en todos los tamices.
B=Peso acumulado, calculado por extrapola-

ción logarítmica, a partir de las dos primeras lecturas del hidrómetro perforadas, de las partículas en suspensión correspondiente a un diámetro equivalente igual al tamiz más pequeño que se ha introducido, con todas las correcciones especificadas en el anterior párrafo b), introducidas.

2) Cálculo de los datos para los tamices.

$$\text{Peso} = \frac{\text{Peso acumulado}}{\text{PTM}} \times 100$$

Nota.—El peso acumulado es el resultado de sumar al peso correspondiente el total de la suma de los pesos parciales correspondientes a todas y cada una de las fracciones de tamaño inferior al diámetro para el que se calcula el peso acumulado. Se debe señalar que, normalmente, por los diferentes autores se calculan los pesos acumulados de los tamaños superiores al diámetro por el que se calcula. Sin embargo, dado que las tomas del hidrómetro dan directamente un peso acumulado de los tamaños inferiores al diámetro equivalente, D, se ha preferido en este caso utilizar estos datos sin realizar la conversión. En consecuencia, los tantos por ciento acumulativos en peso que imprime el programa, guardan la siguiente relación con los utilizados normalmente en la literatura.

Peso (ordenador)=100-% acumulativo en peso (usual).

3) Cálculo de datos para las tomas del hidrómetro.

$$D \text{ (en micras)} \times 10^{-5} = \sqrt{\frac{A}{G_s - 1} \times \frac{H_r}{T}}$$

donde

$$A = \frac{1800z}{980,7}$$

estando especificado el significado y valor del resto de los símbolos en el anterior apartado II.A.

$$\% \text{ Peso} = \frac{(R_h - b) \cdot K + M_t - C}{\text{PTM}} \cdot 100$$

tal como se detalla en II.B.

4) Cálculo por extrapolación de la curva acumulativa.

Se calcula el diámetro equivalente correspondiente a determinados porcentajes de peso, en base a

extrapolación logarítmica, a partir de los valores inmediatos inferior y superior. Todos los diámetros se calculan en micras y en la escala phi, que está definida por:

Diámetro en phi (Φ) = -log₂ diámetro en milímetros.

Los porcentajes en peso determinados han sido: P₉₉ (C o centilo), P₉₅, P₉₀, P₈₅, P₈₄ (Φ₁₆), P₈₀, Q₃ (tercer cuartilo), P₇₀, P₆₅, P₆₀, P₅₅, M_d (mediana), P₄₅, P₄₀, P₃₅, P₃₀, Q₁ (primer cuartilo), P₂₀, P₁₆, (Φ₈₄), P₁₅, P₁₀, P₅, para los que se ha calculado el diámetro equivalente correspondiente.

Asimismo se han calculado los porcentajes en las muestras de las fracciones acumuladas menores de 4, 31 y 125 μm., que, respectivamente, se representan por A, L y F.

5) Cálculo de los parámetros.

Con los datos anteriores se calculan los siguientes parámetros (op. cit.: Folk, 1959, 1966 y 1968; Cailleux y Tricart, 1965; Vatan, 1967; Passega y Byramjee, 1969, etc.).

Desviación de cuartiles.

$$D = \frac{Q_3 - Q_1}{2}$$

Clasificación. (Sorting de TRASK, 1930 y 1932)

$$S_o = \sqrt{Q_3/Q_1}$$

$$Qd_\phi = \log_2 S_o$$

Asimetría (Skweness, TRASK, 1932)

$$S_k = Q_3 \cdot Q_1 / Md^2$$

Angulosidad (Kurtosis; KELLEY, 1924)

$$K = \frac{Q_3 - Q_1}{2(P_{90} - P_{10})}$$

Tamaño medio del grano (Mean size; OTTO, 1932)

$$M_\phi = 1/2 (\Phi_{84} + \Phi_{16})$$

Desviación en phi (Sorting en phi; INMAN, 1952)

$$\sigma_\phi = 1/2 (\Phi_{84} - \Phi_{16})$$

Asimetría en phi (Skweness; INMAN, 1952)

$$\alpha_\phi = \frac{M_\phi - Md_\phi}{\sigma_\phi}$$

Donde Md_φ es la Md en phi, o mediana en la escala phi.

IV. SIGNIFICADO GRANULOMÉTRICO DE LOS PARÁMETROS Y PORCENTAJES EMPLEADOS.

A continuación se resume el significado de los parámetros y porcentajes empleados.

-C, es el centil y equivale a una aproximación del tamaño máximo del grano presente en la muestra. Da una idea del máximo nivel de energía y competencia del agente de transporte, suponiendo todos los tamaños de granos disponibles. Es el diámetro de elementos tal que el 1 por 100 de la muestra en peso tiene un tamaño mayor al mismo.

-Md, es la mediana, que es el diámetro de elementos tal que el 50 por 100 de la muestra en peso, tiene un diámetro mayor que él y el 50 por 100 restante tiene un diámetro menor. También se representa por M.

-Q₃ y Q₁ son los cuartiles.

El resto de los porcentajes empleados generalmente se representa por el mismo símbolo especificado.

-La desviación en phi (INMAN), que tiene un significado análogo a la clasificación, es una medida de dispersión de la curva acumulativa, definiendo un sedimento como mejor seleccionado o tendente a presentar un tamaño único de partículas, cuanto más pequeño es su valor.

En la escala de Folk (1959) los tipos de sedimentos dependiendo del valor de σ_φ son los siguientes:

	σ _φ
Muy bien seleccionados...	<0,35
Bien seleccionados ...	0,35-0,50
Moderadamente bien seleccionados.	0,50-0,71
Moderadamente seleccionados ...	0,71-1
Pobremente seleccionados ...	1-2
Muy pobremente seleccionados...	2-4
Mal seleccionados ...	>4

-El tamaño medio del grano M_φ, como su nombre indica, es una aproximación al tamaño medio de las partículas del sedimento. Indica un promedio de la energía cinética del medio de deposición.

-La clasificación (S_o), elimina la influencia del factor talla. Según Trask (op. cit Vatan, 1967) si este coeficiente es inferior al 2,5 la arena está bien cla-

sificada, si es superior a 4,5 la arena está mal clasificada. Para valores vecinos a 3, la clasificación es normal.

La asimetría (S_k) representa la simetría de la curva con relación a la mediana. Si es igual a 1, la *moda* (punto culminante de la curva de frecuencia) coincide con la mediana. Si la asimetría es superior a 1, la clasificación es máxima del lado fino; al contrario si es inferior a 1, lo es del lado grueso. A medida que el coeficiente se aleja de la unidad la moda se separa de la mediana.

Análogo significado tiene la *asimetría en phi* (α_ϕ), aunque utilizando distintos parámetros y escala. Si el valor del coeficiente α_ϕ es positivo ($\alpha_\phi > 0$), el tamaño medio del grano (M_ϕ) es más fino que la mediana (Md_ϕ) y la selección de la fracción más fina que la mediana es pobre (la curva acumulativa a distribución de tamaño de grano es plana dentro de este intervalo). El coeficiente negativo de α_ϕ ($\alpha_\phi < 0$) indica que el tamaño medio del grano (M_ϕ) es más grueso que la mediana (Md_ϕ) y una pobre selección de las fracciones más gruesas que la (Md_ϕ).

V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Han sido calculados los parámetros y curvas acumulativas para varias muestras correspondientes desde depósitos del tipo grava a los del tipo lutita, manualmente y por medio del programa de computador descrito. En todos los casos se ha encontrado una perfecta concordancia entre un tipo y otro de resultados. Las únicas pequeñas diferencias apreciables han aparecido para los porcentajes extremos (centilo, P_5) en los casos en que estos han tenido que ser calculados por extrapolación, dado que el número de datos analíticos no ha permitido su cálculo por interpolación. Esto es resultado de que la extrapolación de la curva acumulativa para el cálculo de los porcentajes extremos, puede estar influenciada subjetivamente en función de la forma general de dicha curva. Este inconveniente, es fácilmente resuelto por una toma de datos lo suficientemente numerosa y representativa.

Como conclusión, el programa que se describe permite el cálculo granulométrico de distribución de tamaño de grano para todos los tipos de depósitos clásticos que pueden ser analizados por me-

dio del hidrómetro y tamices. Este programa evita todos los cálculos numéricos manuales, al mismo tiempo que reduce al mínimo el número de datos analíticos a tomar (por ejemplo, no es necesario conocer el peso inicial de muestra de partida), con el consiguiente beneficio de tiempo y fidelidad de los resultados. De esta forma se evitan un gran número de imprecisiones, que pueden aparecer en el laborioso cálculo manual necesario para este tipo de análisis.

BIBLIOGRAFIA

- A. S. T. H. DESIGNATION D 422-54T (1954).—Tentative method for grain-size analysis of soils. *Amer. Soc.: Testing Book de A. S. T. M.*, pp. 1119-1129.
- BRITISH STANDARD, 1377: 1967 (1968).—*Methods of testing soils for civil engineering purposes*, 234 págs. British Standard. Institution. London.
- BUCHAN, S.; JONES, A.; SIMPKIN, P. (1970).—A computer program for the calculation of hydrometer size analysis. *Marine Geology*, 9, pp. M-23-M-29, 4 figs.
- CAILLEUX, A.; TRICART, J. (1965).—*Initiation à l'étude des sables et des galets*. T. I. 366 págs., 71 figs., 54 tablas. T. II, 194 págs., T. III, 202 págs. Centre de Documentation Universitaire. París.
- FOLK, R. L. (1959).—*Petrology of Sedimentary Rocks*, 51 págs. Hemphil's Book Co. Austin.
- (1966).—A review of Grain-Size parameters. *Sedimentology*, 6 pp., 73-93. Amsterdam.
- (1968).—*Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphil's Book Co. Austin. Texas, 170 págs.
- LAMBE, T. W. (1951).—*Soil testing for engineers*, 165 páginas, New York.
- MALDONADO, A. (1972).—El delta del Ebro: estudio sedimentológico y estratigráfico. Tesis Doctoral. *Boletín de Estratigrafía*, vol. 1, VII+486 págs., 182 figs., 7 láminas, 11 tablas, 6 anejos, 7 planos. Universidad de Barcelona.
- PASSEGA, R.; BRYAMJEE, R. (1969).—Gain-size image of Clastics Deposits. *Sedimentology*, 13 pp., 233-252, 5 figs. Amsterdam.
- VATAN, A. (1967).—*Manuel de Sédimentologie*, XXIII+397 págs., 151 figs., V cuadros, LX láms. Ed. Technip, París.

Recibido: Marzo 1973.

Investigación de níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre la geología y petrogénesis (*)

I. PARTE: GEOLOGIA Y CARTOGRAFIA

Por: M. J. AGUILAR (**), V. CRESPO (**) y J. L. REYES (**).

II. PARTE: PETROGRAFIA Y PETROGENESIS

Por: M. J. AGUILAR (**), A. APARICIO (***), J. M. FUSTER (***), M. MUÑOZ (***) y J. SAGREDO (**).

RESUMEN

Los macizos de rocas ultrabásicas de la provincia de Málaga se han considerado, en la escasa bibliografía existente, como típicamente alpinos en función de sus características morfológicas y petrográficas pero, sobre todo, por su falta de estructuración interna.

En este trabajo se pone de manifiesto la zonación petrográfica existente en ellos, muy clara en la parte occidental del macizo de Ronda y distorsionada tectónicamente en su parte oriental así como en los macizos de Ojén y Carratraca. Además de esta zonación, la aparición de una facies típica del borde en las peridotitas, y los fenómenos de metamorfismo de contacto sobre las rocas encajantes, son datos favorables para interpretar los macizos peridotíticos de Málaga como pertenecientes a complejos zonales de alta temperatura.

Las paragénesis minerales encontradas indican que las rocas ultrabásicas de estos macizos eran estables a presiones superiores a los 8 e inferiores a los 30 kilobares de presión en ambiente sólido, es decir, para temperaturas por debajo de 1.200 a 1.300° C., lo que hace considerar a las peridotitas de Málaga como procedentes del manto superior.

Conviene señalar que los datos tomados en el campo se consideran insuficientes para que la cartografía de estos macizos quede totalmente completada y serán necesarios estudios sobre las áreas no visitadas que sirvan para rellenar las lagunas que han surgido.

El trabajo ha estado encaminado fundamentalmente al estudio de las rocas ultrabásicas por lo que algunas de las formaciones de las rocas encajantes corresponden a los datos tomados de la Bibliografía.

En el curso de la redacción de esta nota han aparecido los trabajos de Loomis (1972, a y b) dirigidos al estudio del modo del emplazamiento de la intrusión ultrabásica del Macizo de Ronda y a los efectos del metamorfismo de esta intrusión caliente sobre las rocas encajantes. Las conclusiones de estos trabajos suponen un gran avance en el conocimiento de los macizos peridotíticos de Málaga, complementando y ampliando las observaciones estructurales por nosotros hechas y confirmando plenamente nuestras hipótesis sobre el emplazamiento "caliente" de las masas ultrabásicas para formar los complejos zonales de alta temperatura de los que por vez primera se presenta, en nuestro trabajo, una cartografía que refleja su carácter zonal.

INTRODUCCIÓN

Los datos que se exponen en este trabajo han sido obtenidos en el curso de las investigaciones llevadas

(*) Este trabajo forma parte de los Proyectos de Investigación Minera que el IGME está realizando en la Provincia de Málaga.

(**) Compañía General de Sondeos, S. A.

(***) Departamento de Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense. Madrid.

a cabo por la Compañía General de Sondeos, S. A. en la investigación de la Reserva para níquel del Subsector Sur, Área 1 - Serranía de Ronda, dentro del Plan Nacional de Investigación Minera cuya ejecución está encomendada al Instituto Geológico y Minero de España.

Las conclusiones obtenidas en el desarrollo de la investigación general en los aspectos geológico, geoquímico, minero, petrográfico y petrogenético se recogen en una extensa memoria con abundante do-

cumentación gráfica entregada al IGME en diciembre de 1972. En esta nota sólo se tratan, de forma general y resumida, aquellos aspectos geológicos y petrográficos cuyo conocimiento supone una aportación para la interpretación petrogenética de los macizos de rocas ultramáficas de la provincia de Málaga.

Los autores de esta nota deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Instituto Geológico y Minero de España y a la dirección de la Compañía General de Sondeos, S. A. por la autorización concedida para su publicación.

I PARTE: GEOLOGIA Y CARTOGRAFIA

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Sóloamente se toman en consideración aquellos antecedentes bibliográficos que tratan sobre las intrusiones peridotíticas de la Provincia de Málaga y su entorno. El primer trabajo que cita rocas ultrabásicas en la Serranía es el de Maestre (1846) mencionando las serpentinas como rocas eruptivas que ejercieron un metamorfismo de contacto sobre las calizas circundantes, transformándolas en dolomías. Algo más tarde, Ezquerro del Bayo (1850) vuelve sobre el tema indicando también la existencia de un metamorfismo de contacto producido por las peridotitas y considerando su intrusión como post-terciaria.

Los trabajos de Alvarez de Linera (1851 a y b), suponen un avance mayor en el conocimiento de los macizos peridotíticos delimitando los principales afloramientos, y estudiando las peridotitas aunque, por lo general, sólo los tipos serpentínicos en los que suele incluir los gneises circundantes. También supone que los fenómenos de metamorfismo observados en la zona son debidos a las intrusiones de serpentina.

Los sucesivos trabajos de Macpherson (1874, 1875, 1879 y 1881) aportan nuevos datos para el conocimiento de los macizos peridotíticos, tanto en lo que se refiere a petrografía como en la relación de éstos con las rocas encajantes. Indica que los fenómenos de metamorfismo no se deben sólo a la acción de contacto de las serpentinas sino a procesos dinámicos anteriores. Se describen, además de la serpentina, peridotitas no alteradas. Sienta la hipótesis de que la intrusión tuvo lugar entre el final del Jurásico y comienzos del Terciario. Con-

cluye en que las grandes masas dolomíticas de Sierra Blanca, Sierra de Mijas y Torrecilla, no han sido metamorfizadas por la peridotita, relacionando las "erupciones" peridotíticas con la tectónica regional, suponiendo que éstas se orientan de SW a NE debido a grandes dislocaciones en esta dirección.

En el estudio de Tramelli y Mercalli (1886) se delimitan los afloramientos peridotíticos y se da una hipótesis sobre el origen de la serpentina.

Levy y Bergeron (1889) dieron a conocer los datos de la "Mission D'Andalousie", en los que se describen petrográficamente algunos tipos de rocas recogidas en las zonas de borde, considerando que los macizos están constituidos fundamentalmente por noritas.

En la publicación de Duparc y Grosset (1916) se comparan las rocas peridotíticas de la Serranía, con otras existentes en los Urales, describiéndose con gran exactitud las características petrográficas generales.

La memoria de Orueta (1917) es un trabajo de importancia capital en el estudio de los macizos peridotíticos así como de la Serranía en general. Se hace un estudio muy detallado y minucioso de las rocas ultramáficas y de las demás que afloran en la Serranía. Orueta estableció que las rocas que forman las intrusiones ultramáficas estaban formadas por todos los términos de la serie peridotítica, con una tendencia a que la basicidad fuera decreciendo de las zonas centrales a los bordes, con una aureola marginal de rocas noríticas y gabroideas, siendo de serpentinas los contactos con las rocas encajantes.

Supone Orueta que todos los afloramientos peridotíticos están unidos en profundidad y que hicieron intrusión aprovechando un surco de fallas dirigidas de SW a NE. Las rocas fueron originadas por la cristalización lenta de un magma ultrabásico a grandes profundidades, formando un batolito que, posteriormente, se elevó hasta la superficie.

El trabajo de Blumenthal (1949) aunque no considera los aspectos petrográficos de la intrusión peridotítica de Sierra Alpujata-Sierra Negra, se ocupa, entre otros aspectos, de los posibles fenómenos de metamorfismo que considera como existentes, pero poco acusados. Supone que el magma básico fluyó hacia arriba por todos los sitios en que las masas marmóreas eran más débiles o no existían.

Termier y Termier (1956) al hacer referencia a las rocas ultrabásicas del SO de España, las considera de origen metasomático, por transformación

de rocas dolomíticas, siguiendo las hipótesis emitidas por Van Bemmelen.

El trabajo moderno más extenso publicado sobre las peridotitas de Málaga es el de Hernández-Pacheco (1967) que aborda el estudio del macizo ultramáfico de Ojén describiendo las características geológicas, petrográficas y geoquímicas del mismo con gran detalle. Estas descripciones son básicas para el estudio de los macizos de rocas ultramáficas y los principales aspectos del estudio han sido tenidos en cuenta a la hora de exponer las características de las rocas de los macizos de Ronda, Ojén y Carratraca, por nosotros estudiados.

En cuanto a las principales conclusiones obtenidas por Hernández-Pacheco, en el macizo de Ojén, se citan, a continuación, textualmente, las recogidas en el resumen de su trabajo:

Petrologicamente, el macizo de Ojén está formado por toda la serie de rocas ultramáficas, desde dunitas hasta piroxenitas, predominando los tipos harzburgíticos y, sobre todo, lertzolíticos. La distribución de los distintos tipos es completamente irregular dentro de él. Todas ellas han sufrido una serpentinización intensa por procesos de automorfismo y de meteorización. Aparecen también en algunas zonas "schlieren" de rocas anfibólicas granatíferas que se suponen proceden de primitivas eclogitas transformadas durante la intrusión del macizo ultramáfico.

Las masas duníticas (sigue el resumen del autor) se originaron por acumulaciones locales de cristales de olivino en el magma ultramáfico. La explicación más plausible de la estructura y caracteres petrológicos del macizo es una hipótesis de un magma ultramáfico cristalizado en profundidad bajo presión tectónica. Posteriormente durante su intrusión, a través de las formaciones metamórficas del "Bético de Málaga", como una masa aun de cierta plasticidad, se desarrollaron fenómenos de milonitización, tanto en las peridotitas como en los gneises encajantes, y transformaciones y deformaciones de los minerales de aquéllas. Asimismo se originaron fenómenos de bandeado. Ello explicaría también la ausencia de un metamorfismo de contacto apreciable en la formación encajante. Con posterioridad a la intrusión de las peridotitas todo el macizo fue invadido por un cortejo de intrusiones filonianas ácidas (fundamentalmente aplitas) y tipos monominerales cordieríticos.

La tesis de Buntfuss (1967) recoge algunos aspectos del contacto entre las peridotitas y la Uni-

dad Blanca (Alpujárride). Entre los gneises de andalucita y las peridotitas aparecen siempre cornubianitas o miembros de transición a cornubianitas, que han sido mal llamadas "gneises de cordierita". En estas cornubianitas aparecen inclusiones, hasta del tamaño de una cabeza, muy semejantes a los gneises de andalucita, que se consideran como restos de la roca matriz.

Debe suponerse, sigue Buntfuss, que la formación de cornubianita se relaciona genéticamente con la peridotita, pues el límite de estas rocas con el gneis de andalucita sigue paralelo al borde de peridotita.

El trabajo de recopilación de Mauthe (1971) basado en su tesis y en las de Kockel (1964), Durr (1963), Mollat (1968) y Buntfuss (1967), aporta nuevas ideas para el conocimiento de los macizos peridotíticos. Aunque no incluye nuevos datos petrográficos, señala que las peridotitas limitan con rocas de las unidades Alpujárrides y del Bético de Málaga s. str., constituyendo grandes plutones o lentejones de serpentina que se deslizaron como material lubricante adherido a los mantos alóctonos entre el Bético de Málaga s. str. y las unidades alpujárrides.

Entre la peridotita y el Bético de Málaga, continúa el autor que nos ocupa, hay contactos pero sólo de carácter tectónico intenso. En cambio, entre las peridotitas y las rocas alpujárrides apenas hay contactos tectónicos. La intrusión de peridotita actuó con cierta intensidad en la roca encajante: en Casares hay pizarras con una aureola de metamorfismo progresivo en torno al contacto con las peridotitas. En el SE, los gneises próximos al contacto son cordieríticos que se entrecruzan con gneises andalucíticos bastante alejados de los contactos. Las observaciones indican que ha habido una transformación por metamorfismo de contacto, al ascender un magma ultrabásico caliente.

Según Mauthe, aunque resulta difícil precisar el momento en que tuvo lugar la intrusión, los pequeños bloques de mármoles y cuarcitas triásicas que yacen en la masa de la roca eruptiva o que la rodean como parte de la serie Alpujárride, inducen a considerar la época de la intrusión como tardo-triásica o post-triásica. En todo caso, según este autor, su encajamiento atravesando los terrenos sedimentarios ha tenido que ocurrir antes del corrimiento del Bético de Málaga s. str., entre el Liásico y el Titónico, como lo demuestran los lentejones de serpentina que han facilitado el arrastre.

El trabajo de Loomis (1972 a) pone de manifiesto la existencia de un metamorfismo de contacto producido por la intrusión peridotítica en la transversal de Jubrique (macizo de Ronda) con caracterización de las isogradas de este metamorfismo. Otro trabajo del mismo autor (Loomis, 1972 b) explica el modelo estructural del macizo de Ronda como resultante de un emplazamiento diapírico de una intrusión ultramáfica de alta temperatura, procedente del manto, en la serie pelítico-gneílica de cobertera, como parte de un sistema de dos umbrales peridotíticos extendiéndose a lo largo de la parte Occidental de las costas españolas y marroquíes del mar del Alborán, desde el Macizo de Ronda a Motril, en España y desde Ceuta al Este del macizo de Beni Bouchera, en Marruecos.

MARCO GEOLÓGICO

Los macizos de rocas ultramáficas se encuentran ubicados en la mitad occidental de la provincia de Málaga, en el ámbito de las Cordilleras Béticas, dentro del "Bético s. l." definido por Fallot (1948) y en relación con los Rondades.

Las modernas investigaciones dividen este "Bético s. l." en tres unidades conocidas como Bético de Sierra Nevada, Alpujarrides y Bético de Málaga. Los dos últimos se disponen tectónicamente sobre el primero a modo de mantos de corrimiento, siendo la unidad más alta la última antes citada, que a su vez corresponde a un manto de corrimiento sobre el Alpujarride.

En las áreas circundantes a los macizos ultramáficos aparecen materiales pertenecientes a las unidades Alpujarrides y del Bético de Málaga, una gran parte de las primeras se encuentran afectados por un fuerte metamorfismo regional. Este metamorfismo hace que el estudio de las ya de por sí complicadas estructuras tectónicas de mantos de corrimiento se haga más complejo y laborioso.

De todos los afloramientos de rocas ultramáficas de la región, se estudian solamente los tres mayores que designamos con los nombres de macizos de Ronda, Ojén y Carratraca (fig. 1). En ellos se reconocen una serie de características comunes que se expondrán más adelante.

El trabajo de campo ha estado encaminado entre otras cosas a la separación de unidades petrográficas dentro de las peridotitas, y para hacerlo, ha sido imprescindible efectuar una cuidadosa recogida de muestras de rocas frescas para estudiar-

las al microscopio y con los resultados obtenidos establecer correlaciones.

Una característica común es la presencia de estructuras planares (layering) que confiere a los macizos un aspecto que recuerda la disposición de las rocas sedimentarias. En la mayor parte del volumen de la roca ultramáfica se presentan bandeados, correspondientes a concentraciones de minerales orientados, de igual composición. Existen algunas áreas en que estos minerales se disponen distribuidos irregularmente por la roca, sin que lleguen a formarse las estructuras antes aludidas.

Cuando la serpentinización de las peridotitas es acusada, la diferente resistencia de sus componentes minerales a la acción de los agentes externos hace bien visible estas estructuras, que son difícilmente perceptibles cuando la roca está fresca.

La medida sistemática del layering en toda la extensión de cada uno de los macizos, nos ha servido para conocer la existencia de megaestructuras, a las que nos referiremos más adelante.

Otro rasgo común es la existencia de serpentinitas, producidas con posterioridad al proceso de consolidación de la masa magmática. Se puede decir de forma general, que éstas son más abundantes en las zonas próximas al contacto con la roca de caja y en aquellas áreas donde la tectonización es más intensa.

A medida que los macizos son más grandes, existe mayor cantidad de peridotita fresca, mientras que en los asomos de pequeño volumen, la serpentinización es mucho más intensa. Esto parece debido al efecto que los esfuerzos tectónicos han originado sobre las rocas ultrabásicas, que se comportan como rocas incompetentes, que no transmiten los esfuerzos a que han sido sometidas, por lo que la fracturación y, por consiguiente, la serpentinización posterior es más intensa en las zonas próximas al contacto con la roca de caja. Es lógico admitir que a menor volumen de roca ultrabásica la tectonización afectará a toda la masa y, por tanto, la serpentinización se extenderá indistintamente por todo el macizo.

En cuanto a la relación de las peridotitas con la roca de caja, en todo el perímetro de los macizos encontramos contactos de dos tipos, los magmáticos y los tectónicos, siendo los primeros los más frecuentes, según hemos podido constatar en nuestras observaciones.

La dificultad de observación de estos contactos, ya que únicamente en las márgenes de algunos arroyos se han podido ver nítidamente, ha determinado

que en la cartografía aparezcan como tomados de la fotografía aérea, la cual ha constituido un gran auxiliar en esta fase de nuestro trabajo.

Las rocas encajantes corresponden en gran parte a gneises alpujarrides que en ocasiones llegan a ser

mientras que a medida que nos alejamos de él decrecen tanto en número como en tamaño hasta llegar a desaparecer cuando se sobrepasa la distancia antes aludida. A veces se encuentran en el contacto gneises en los que no aparecen granates.

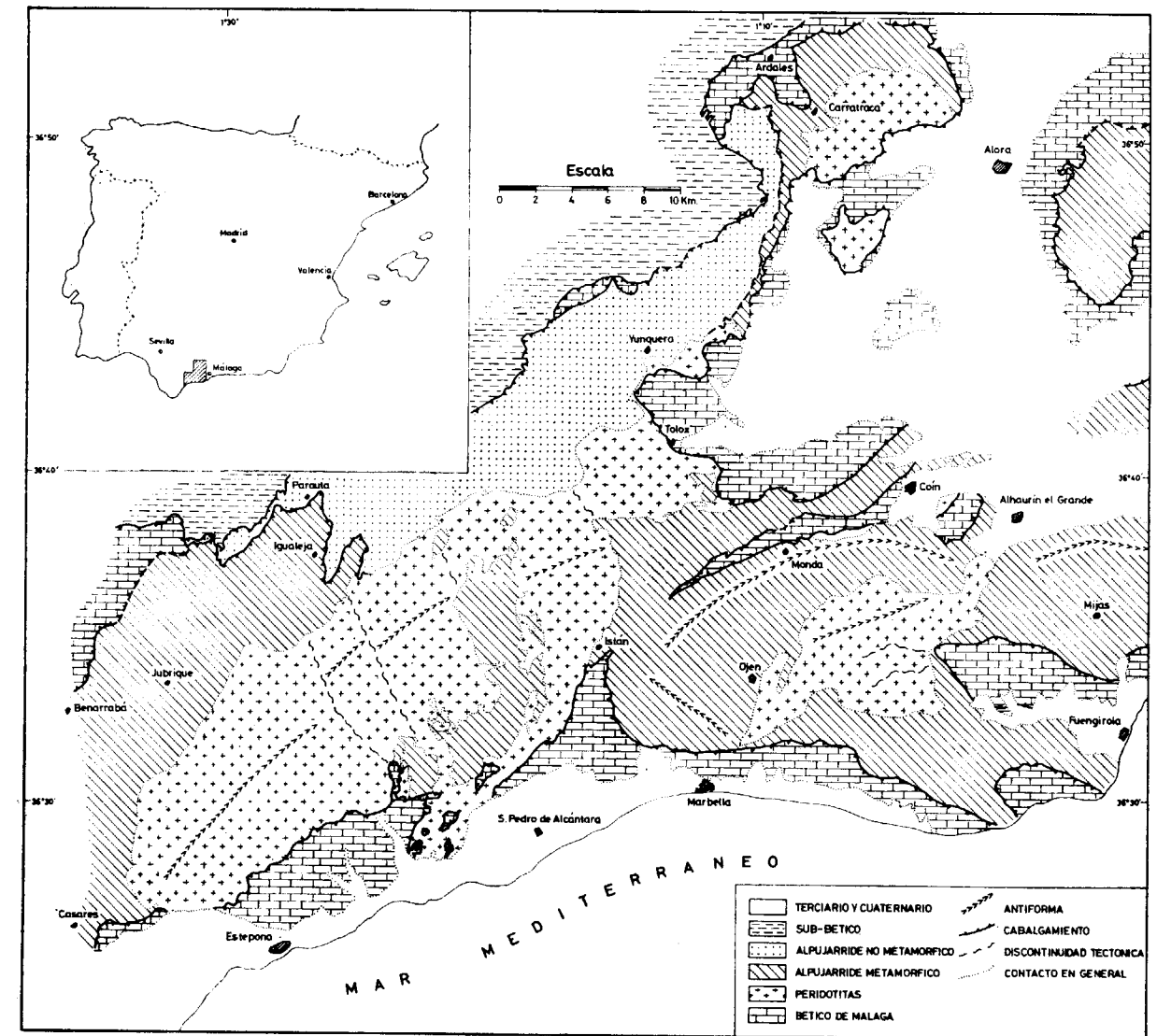


Figura 1

Mapa geológico general y de situación de los macizos peridotíticos.

glandulares. Una característica significativa en estos gneises es la existencia de granates en una extensión constante a partir de la línea de contacto que alcanza hasta unos 100 metros de ella. Estos granates suelen tener hasta 2 centímetros de diámetro presentándose en gran número, próximo al contacto,

Es muy usual en casi todos los puntos próximos al contacto en que hemos visto los gneises con granates, que el layering de las peridotitas sea concordante con el rumbo y buzamiento de los gneises. En aquellas zonas en que los gneises no tienen granates, también se producen estas coincidencias de rumbo

y buzamiento, pero son mucho más frecuentes las disarmonías.

A veces las peridotitas se ponen en contacto con los materiales paleozoicos de débil metamorfismo del Bético de Málaga, pero en todos los casos en que esto ocurre el contacto es tectónico, pudiendo apreciarse claramente la presencia de huellas de falla en aquellos puntos en que se ve con nitidez el contacto.

Ocasionalmente la roca de caja corresponde a materiales no metamórficos pertenecientes al Eoceno-Oligoceno, y los contactos son generalmente tectónicos o discordantes transgresivos.

Para completar el cuadro petrográfico de los macizos ultrabásicos de Málaga hay que señalar que son muy frecuentes, dentro de la masa de las peridotitas, los diques ácidos de composición cuarzo, ortosa, mica, que se presentan con textura pegmatítica o bien aplítica, rellenando fracturas que no tienen un rumbo y buzamientos constantes, lo cual se puede interpretar como que su intrusión tiene lugar cuando ya está formada la red de fracturas y, por tanto, metacrónicamente con el emplazamiento de las rocas ultramáficas y sin aparente relación genética con ella. Todo ello viene avalado por la presencia de numerosos diques de este tipo en las rocas de caja.

Una vez hechas estas consideraciones generales, vamos a pasar a hacer una descripción detallada de cada uno de los macizos estudiados y de los problemas que presentan.

EL MACIZO ULTRABÁSICO DE RONDA

Constituye el asomo ultrabásico más occidental y el más extenso de la provincia petrográfica de Málaga. Para realizar una cartografía de las peridotitas que lo componen se realizaron una serie de recorridos de campo con objeto de recopilar todos los datos posibles sobre la disposición general del layering, con los cuales tener una base que sirviera para programar una serie de perfiles de recogida de muestras frescas, que, al ser estudiadas al microscopio, nos sirvieran para extrapolar los datos obtenidos en cada perfil, formando un esbozo geológico de repartición, dentro del macizo, de rocas agrupadas según su composición mineralógica.

Al ser el rumbo más frecuente del layering paralelo a la dirección de máximo alargamiento del macizo (coincidente con la directriz bética dominante) se realizaron ocho perfiles con dirección

aproximada, N-S, y se recogieron muestras según una pauta de 250 metros de distancia máxima entre dos muestras siendo esta longitud más pequeña en aquellos puntos en que por sus características se estimó conveniente el acortarla.

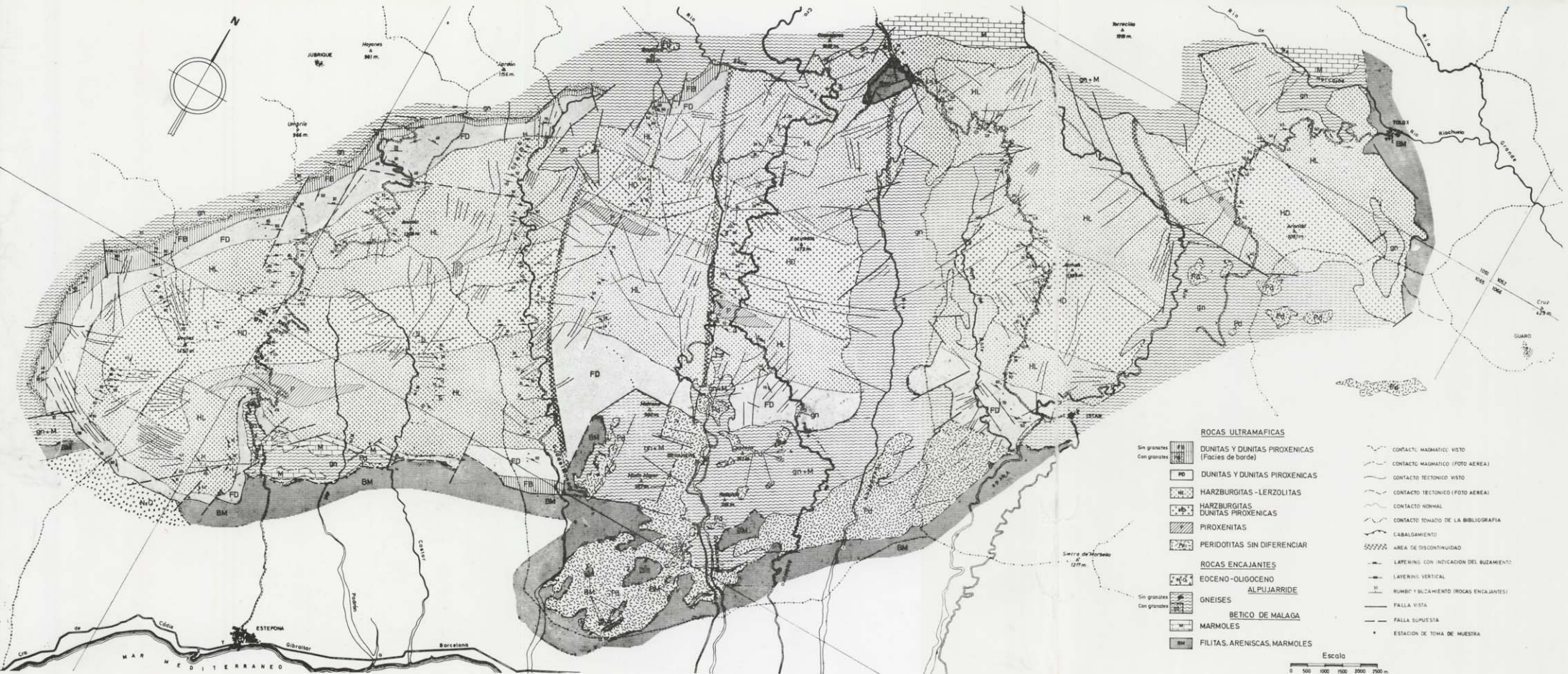
Con los datos suministrados por el estudio microscópico de todas estas muestras y las observaciones de campo, se ha confeccionado un mapa (figura 2) en el que se diferencian una serie de unidades litológicas que agrupan las muestras en relación con su composición y de acuerdo con las características diferenciales para cada una de ellas observadas en el campo. Este mapa servirá de base para realizar estudios geológicos posteriores más detallados.

En él se puede observar la presencia de un núcleo, correspondiente a la unidad central del macizo peridotítico, constituido por una asociación de dunitas proxénicas-harzburgitas, con ortopiroxenos de hasta 2 centímetros de tamaño, que se van haciendo más pequeños a medida que nos acercamos hacia el borde. Esta "facies" es continua según la dirección de alargamiento máximo en todo el centro del macizo. En la apófisis de Tolox, situada al NE del macizo y que puede constituir una unidad independiente del mismo, también se encuentra esta facies del núcleo.

Rodeándola aparece un conjunto en el cual la composición media de las rocas estudiadas corresponde a harzburgita-lerzolita. También en él el tamaño del grano va siendo más fino, a medida que nos alejamos del centro del macizo. Una característica notable de este conjunto es que hacia el N. aparece un buen número de rocas clasificadas como lerzolititas mientras que en el S. aparecen más abundantemente representadas las harzburgitas. Igualmente, en esta mitad S. aparecen lentejones de piroxenitas dispuestos paralelamente al layering con potencia de hasta un metro y desarrollo, según el rumbo, de varios metros. Al estar compuestas estas piroxenitas por concentraciones de piroxenos monoclinicos podría pensarse que esta concentración es la que determina el que las peridotitas de este sector presenten composición de harzburgita.

Estas piroxenitas se concentran en una posición determinada, respecto del centro del macizo, que se va repitiendo en cada uno de los perfiles, por lo que se han considerado como un excelente nivel guía para la cartografía de la mitad S. del macizo.

Hay que hacer constar que hacia el E. varía la composición de las piroxenitas, para aparecer como rocas gabroideas en la transversal de San Pedro de



- ROCAS ULTRAMAFICAS**
- DUNITAS Y DUNITAS PIROXENICAS (Facies de borde)
 - DUNITAS Y DUNITAS PIROXENICAS
 - HARZBURGITAS - LERZOLITITAS
 - HARZBURGITAS DUNITAS PIROXENICAS
 - PIROXENITAS
 - PERIDOTITAS SIN DIFERENCIAR
- ROCAS ENCAJANTES**
- EOCENO-OLIGOCENO
 - ALPUJARRIDE
 - GNEISES
 - BETICO DE MALAGA
 - MARMOLES
 - FILITAS, ARENISCAS, MARMOLES
- CONTACTOS Y ESTRUCTURAS**
- CONTACTO MAGMÁTICO VISTO
 - CONTACTO MAGMÁTICO (FOTO AEREA)
 - CONTACTO TECTÓNICO VISTO
 - CONTACTO TECTÓNICO (FOTO AEREA)
 - CONTACTO NORMAL
 - CONTACTO TOMADO DE LA BIBLIOGRAFIA
 - CABALGAMIENTO
 - AREA DE DISCONTINUIDAD
 - LAYERING CON INDICACION DEL BUZAMIENTO
 - LAYERING VERTICAL
 - RUMBO Y BUZAMIENTO (ROCAS ENCAJANTES)
 - FALLA VISTA
 - FALLA SUPUESTA
 - ESTACION DE TOMA DE MUESTRA

Figura 2
 Mapa geológico del macizo ultramáfico de Ronda.

Escala
 0 500 1000 1500 2000 2500 m.

Alcántara a Ronda. En la transversal de Istan desaparecen y de nuevo las encontramos en la transversal Monda-Tolox. En general podemos decir que en su composición predominan los clinopiroxenos y son muy abundantes las espinelas y las plagioclasas.

El contacto existente entre este conjunto y el anteriormente descrito, no corresponde a una línea definida que haya sido vista en los recorridos de campo, sino que se ha trazado en razón de los cambios de composición mineralógica de las rocas las cuales se han agrupado estadísticamente en razón de su proximidad. Por tanto, aunque de por sí constituyen paquetes de rocas independientes, entre ellos existirán todas las transiciones, con lo cual son indiferenciables putualmente.

Una nueva "facies" dispuesta sobre el conjunto anterior presenta como rocas más abundantes las dunitas, que, con cierta frecuencia, tienen composición de dunitas piroxénicas, y aunque existen algunas harzburgitas su porcentaje es bajísimo. Como ocurre en los tramos anteriores, se observan grandes diferencias en el tamaño de grano de los piroxenos, oscilando entre dos y tres milímetros en la zona más próxima al núcleo, mientras que en la parte más próxima al contacto con la roca de caja no llega a alcanzar un milímetro; cuando aparecen los granos de estas últimas dimensiones se origina lo que se ha denominado "facies fina" que constituye una subfacies diferenciables dentro del conjunto que estamos definiendo.

También esta unidad es muy continua en la mitad W. del macizo mientras que en la mitad E. desaparece en el N., conservándose en el S. En la apófisis de Tolox esta facies no se ha visto.

Hay que señalar la presencia de un tramo de piroxenitas con granates que aparece al W. del macizo y en su mitad N. en las proximidades del límite más externo de la unidad que se describe y que en nuestros recorridos de campo nos ha servido por su continuidad, como nivel guía para el estudio de este sector. En el S. y el E. así como en la transversal de Tolox no se han visto las piroxenitas granatíferas.

Estas rocas se disponen formando uno o varios bancos dispuestos paralelamente al layering y su potencia oscila entre los 20 y 50 centímetros. Asociada a ella, aparece raramente una enstatitita con piroxenos de hasta 10 centímetros de longitud, y una potencia máxima de 2 metros dispuesta a modo de lentejón. Se localiza esta roca en la loma de En-

medio, próximo a la línea de unión de las hojas de Marbella y Cortes de la Frontera.

Por último, en la parte más periférica del macizo, hay que señalar la presencia de lo que llamamos "facies de borde", formada por rocas de grano fino, de composición dunitica, a la que se asocian dunitas piroxénicas. Su característica principal es la de que en su masa se presentan granates, espinelas rosadas, y también aparecen unos piroxenos tabulares dispuestos paralelamente al layering, que alcanzan hasta 10 centímetros de dimensión máxima. Se aprecia con nitidez a todo lo largo del borde NW. del macizo y también en algunos puntos del borde S.; hacia el E. desaparece totalmente, laminada tectónicamente en el N. y, seguramente, por características diferenciales del emplazamiento de la masa ígnea en el S.

Una intrusión filoniana ácida tardía, que origina pegmatitas y apalitas, que viene representada por los diques de Peñas Blancas, La Rijana y las minas de mica de la Resinera, amén de un sinnúmero de filoncillos que pueden observarse en las transversales de Estepona-Pujerra y Río Guadalmanza, completa el conjunto pétreo del Macizo de Ronda. Como característica acusada en este tipo de diques ácidos, habría que señalar la diferente proporción de ellos que existe entre el E. y el W. siendo en esta mitad mucho más abundantes.

En cuanto a los contactos entre las ultrabasitas y las rocas de caja, se pueden definir dos tipos perfectamente diferenciados, el magmático y el tectónico. El primero aparece siempre que existe la facies de borde y como característica más significativa, aparece el layering de la roca básica concordante en rumbo y buzamiento con los gneises de la roca de caja.

A veces también existen contactos magmáticos en zonas en donde no existe esta concordancia en la "estratificación" (límite E. del macizo). En principio podría pensarse que esto habría de corresponder a un contacto tectónico por contra de los que existen en las zonas en que aparecen las "facies de borde", pero la observación directa en el campo demuestra que no pertenecen a este último tipo.

Los contactos tectónicos más claramente observados se encuentran a todo lo largo de la mitad S. del macizo, en aquellos puntos en que la serie sin metamorfismo del Bético de Málaga o los materiales modernos se ponen en contacto con las rocas ultramáficas. (Sector del Arroyo de Enmedio y Arroyo de la Acedia.)

En estos puntos se puede ver desarrollada una milonita de hasta 10 metros en la línea de contacto, y por supuesto, no existe la concordancia antes explicada entre el layering y la roca de caja. Las facies de borde próximas al contacto desaparecen en casi todos los puntos.

Un tipo especial de contacto, se encuentra al N. del macizo, entre la carretera de Ronda y el área de la Fuenfría. En este punto se puede apreciar como las rocas ultrabásicas cabalgan a la roca de caja, en este caso gneises y mármoles alpujárrides, dando una morfología especial al contacto sólo observada en este punto.

En general, la roca de caja más frecuente de la unidad alpujárride metamórfica se identifica como un gneis biotítico cordierítico, que tiene la particularidad de que en muchos casos presenta gran cantidad de granates en un área continua a lo largo del contacto y hasta una distancia constante de él. El granate parece almandino y tiene una característica muy clara, el ser alotriomorfo y estar muy fracturado.

También se encuentra como rocas de contacto gneises que no tienen granates (sector del río Guadaiza) y, cuando esto ocurre tampoco se presenta la "facies de borde" en las peridotitas, por lo que pensamos que las características mineralógicas de éstas en el momento de la intrusión eran netamente distintas a aquéllas en las que aparecen los granates.

Completan las rocas de caja de las peridotitas las series no metamórficas del Bético de Málaga y del Eoceno-Oligoceno; en estos casos los contactos son tectónicos y claramente metacrónicos con el momento de la intrusión magmática.

La estructura interna de las peridotitas del macizo de Ronda se resuelve en una gran antifirma cuyo plano axial es más o menos coincidente con la dirección de máximo alargamiento de las estructuras Béticas. Para llegar a esta conclusión ha sido necesario realizar numerosos recorridos de campo, haciendo medidas sistemáticas del layering y anotando la existencia de charnelas de pliegues. De W. a E. se observan diferencias muy acusadas en la disposición del layering, lo que hace pensar que nos encontramos ante deformaciones de distinta intensidad. Las medidas de layering de la mitad W. así como la disposición de las unidades litológicas cartografiadas, nos revelan la "estructura ígnea" como un anticlinorio buzante hacia el SW. con el desarrollo de un diaclasado curvo más o menos paralelo a la disposición del layering. Este diaclasa-

do está a su vez afectado por fallas inversas según la dirección de máximo alargamiento Bético, cuyo bloque hundido es el N.

Esta disposición estructural puede explicarse admitiendo un emplazamiento de la masa plutónica aun no totalmente consolidada, adaptado a las directrices tectónicas principales de este sector.

A partir del río Guadalmanza, hacia el E. se observa un claro cambio en la disposición del layering y de las unidades cartografiadas, y, aunque muy débilmente, se aprecia la aparición en las peridotitas de una orientación de los cristales claramente posterior a la formación del layering.

Hacia el E. el fenómeno va siendo más acusado, y en la transversal de San Pedro de Alcántara a Ronda es mayor la evidencia, llegando a desaparecer al N. alguno de los tramos litológicos próximos al borde.

Tanto esta desaparición de conjuntos litológicos del borde, como la aparición de estructuras definidas por la orientación de los cristales y que forman ángulo con las estructuras planares primarias, se interpreta como producido por un plegamiento isoclinal vergente al S.

La unidad más oriental, que está constituida por los materiales de la apófisis de Tolox, parece ser un conjunto tectónicamente independiente de la masa principal, de la que está separada por el estrangulamiento del río Verde.

La correlación lateral entre los diversos tipos de estructuras viene resuelta por áreas que hemos dado en llamar de discontinuidad tectónica y que, según se puede ver en el mapa tectónico de la zona, siguen una dirección aproximada NS. En la fotografía aérea se puede observar claramente un aumento de la red de fracturas, y la presencia de grandes digitaciones dentro de la masa ultramáfica de las rocas de contacto, coincidiendo con estas áreas. Así tenemos las de la Loma de la Corcha y Fuenfría al N. y la de Benahavis y río Guadaiza al S. El río Verde, en donde se estrangula la masa ígnea según una línea NS., creemos que viene condicionado por otra línea de discontinuidad.

La digitación más importante es la del río Guadaiza, que aunque no llega a atravesar totalmente el macizo, lo recorre casi de N. a S. y se prolonga hasta la digitación de la Fuenfría llegando a independizar, según nuestro criterio, los conjuntos ultrabásicos que separa.

Observando la disposición de las unidades litológicas, a uno y otro lado de las líneas de discontinuidad y teniendo en cuenta el nivel guía que

constituyen las piroxenitas, nos encontramos con variaciones muy acusadas que únicamente se pueden explicar por la compartimentación en bloques del macizo y la posterior evolución independiente de cada uno de ellos.

Refiriéndonos a los contactos y con la observación de las líneas de fractura que forman parte de ellos podemos señalar la existencia de una fase de distensión según fallas normales de rumbo N60E y bloque hundido el del S. que en muchos puntos, sobre todo al SW. del macizo, sirve de contacto entre las peridotitas y la roca de caja.

En el área de la Fuenfría, al E. de la carretera de San Pedro a Ronda, se puede observar, según decíamos anteriormente, como las peridotitas cabalgan en unos 100 metros sobre los gneises del contacto. Este cabalgamiento está definido por la intensidad de los esfuerzos que han afectado este área, y determina la desaparición de alguno de los tramos ultrabásicos próximos al contacto, según la secuencia completa establecida en la mitad W. del macizo.

Las direcciones dominantes en la estructura de las rocas ultramáficas son coincidentes con las de máximo alargamiento del geosinclinal bético y creemos que están condicionadas por una compartimentación prefigurada del zócalo que juega un papel tan importante en la evolución geológica del área, que determina incluso la disposición de su morfología actual.

EL MACIZO ULTRABÁSICO DE OJÉN

Se encuentra situado al E. del pueblo que le da el nombre y representa en extensión el segundo más grande de los asomos ultrabásicos de Málaga. Aunque tiene una serie de características comunes con el de Ronda, presenta una individualidad respecto a él por las asociaciones minerales que se encuentran en las unidades litológicas que lo constituyen, así como por la disposición del layering respecto del rumbo y buzamiento de los gneises de caja.

Al igual que en el macizo de Ronda, se ha realizado unos recorridos iniciales, con vistas a tratar de conocer la disposición general del layering que nos sirviera para programar una serie de perfiles en los que realizar toma de muestras.

A partir de los datos tomados en el campo, y con los resultados obtenidos en el estudio de las muestras, se ha confeccionado una cartografía bá-

sica de la estructura interna de las ultrabásitas (figura 3).

Como masa pétreo fundamental aparece una unidad de composición harzburgita-dunita piroxénica, que se reparte indistintamente por una gran extensión del macizo, ocupando lo que a nuestro entender constituye su envolvente más externa.

Los fenómenos tectónicos que han afectado al macizo determinan una compartimentación en bloques que dan lugar a que parte de las rocas ultrabásicas queden preservadas de la erosión y sólo algunas de ellas (las de la mitad N.) estén erosionadas, lo que determina que la unidad que estamos describiendo aparezca en la mayor parte de la extensión del macizo.

Aunque en la cartografía se representa la mitad SE (Unidad Camorro) como serpentinitas (resultado de las muestras tomadas) se estima que la composición de las rocas frescas coincide con la de la unidad que describimos.

Estudios detallados han puesto de manifiesto la existencia de una desarrollada "facies de borde" en la mayor parte del contacto S. del Macizo, en la que se puede apreciar la existencia de abundantes piroxenos tabulares dispuestos paralelamente al layering y algunas espinelas rosadas y raramente algún granate.

Por otra parte en el contacto N. del macizo, está "facies de borde" vuelve a aparecer en casi todo su recorrido, pero con muy escasa potencia originada por la laminación de partes del tramo inicial en el momento de producirse los fenómenos tectónicos tangenciales que hacen cabalgar ligeramente a las peridotitas sobre la roca de caja.

También es reseñable la presencia de un banco continuo de piroxenitas con granates que se dispone paralelamente al contacto y es concordante con el layering.

Todo esto nos habla de la similitud de características que presentan las peridotitas de Ojén con las de Ronda en parte de las zonas de contacto.

Bajo la unidad dunita piroxénica-harzburgita, encontramos una unidad constituida fundamentalmente por lerzolititas cuyas características principales son: la monotonía del tamaño de grano de sus piroxenos (de medio a fino), así como la presencia dentro de su masa de bandeados finos de piroxenitas, que no son cartografiables. La potencia de toda esta serie es muy monótona (500 a 700 metros) excepto hacia el W. donde va adelgazándose paulatinamente hasta llegar a desaparecer. También

hay que hacer constar que, según las observaciones hasta ahora realizadas, estos paquetes de lertzolitas se interrumpen bruscamente en el contacto con las rocas de caja por el E.

Al igual que decíamos para el macizo de Ronda, entre las dos unidades litológicas descritas no existe una línea clara de contacto que pueda ser observada en el campo, ya que la diferenciación carto-

mino más bajo de la serie ígnea y en ella es característica la presencia de cristales de piroxeno ligeramente más gruesos que los existentes en la unidad lertzolítica.

Dentro de esta unidad nos encontramos niveles de hasta varios metros de dunita, compuesta casi exclusivamente de olivino, que no son cartografiables.

trusiva tardía, que en este macizo está mejor representada que en el de Ronda, tanto por el volumen de los diques como por su frecuencia. Hay que hacer notar la existencia de grandes masas de vermiculita dentro de ellos que ha sido objeto de explotaciones económicas, igualmente señalaremos la presencia de grandes cristales de turmalina que no son frecuentes en el macizo de Ronda.

Una característica importante de este macizo, es la presencia de un gran volumen de roca serpentinizada, que constituye por sí misma una unidad litológica. Se encuentra ocupando todo el extremo SE. del complejo, así como gran parte del centro y del S. del mismo. Está formada por minerales de alteración y a partir de una determinada profundidad de la superficie desaparece totalmente para convertirse en roca fresca. También están muy bien desarrolladas en las zonas de fracturas importantes.

Los contactos de las peridotitas con la roca de caja son de dos tipos, tectónicos y magmáticos, predominando estos últimos. La observación en las fotografías aéreas de líneas muy rectas que constituyen el contacto de las rocas ígneas, sugiere la idea de que nos encontrábamos ante contactos tectónicos. Los estudios de campo, demuestran que son magmáticos, a la vista de una serie de características muy significativas de la roca de caja como es, por ejemplo, la existencia de granates en una parte del perímetro que presentan la misma relación de densidad, tamaño y distancia respecto del contacto que en el Macizo de Ronda y la presencia de "facies de borde" en relación con estos puntos, dentro de las peridotitas.

La explicación de estos trazos tan rectos en los contactos magmáticos, quizás habría que buscarla en que las intrusiones básicas de Málaga se realizan por zonas de fracturas preexistentes, de dirección N60E y NS. aproximadamente, que fueron formadas en una orogénesis antigua y que, posteriormente, fueron reactivadas.

La solidez de las rocas ultramáficas en el momento de la intrusión, determinó el que se conservasen estas líneas tan rectas, reliquias de las líneas estructurales por las que se intruyeron.

Las rocas de caja las constituyen fundamentalmente gneises biotíticos cordieríticos graníferos con las características antes señaladas. También existen gneises sin granates de la misma composición mineralógica que los anteriores. Completan la roca de caja los mármoles dolomíticos de la Uni-

dad Blanca y las rocas de débil metamorfismo del Bético de Málaga.

Las observaciones llevadas a cabo sobre los gneises de la roca de caja (al N. de la mina del Peñoncillo) nos pone de manifiesto la presencia de cantos subredondeados de gneises dentro de otros gneises, dándose la circunstancia que los cantos englobados presentan sus bandeados plegados.

Quizás esto sea un claro exponente de que todos los gneises alpujarrides no constituyen un conjunto sinsedimentario, sino que hay dos paquetes separados probablemente por una discordancia y que los inferiores después de ser plegados y erosionados contribuyeron a la formación de los superiores.

Las características tectónicas más acusadas del macizo de Ojén son: la irregularidad del layering, ya que a partir de él no se puede definir una estructura tectónica para las peridotitas, y la compartimentación en bloques que determina las diferencias tan acusadas de topografía que existen en la zona.

La tectónica de bloques independiza tres unidades, en la más septentrional de la cual aparece una antiformal de dirección N50E, que es buzante hacia el W. y que por el E. queda bruscamente interrumpida por la línea de contacto con la roca de caja.

En el bloque S. del graben (área del Camorro) se puede observar como el layering se encuentra plegado según pliegues de pequeña cuerda, que tienen la dirección de su eje paralela a la de máximo alargamiento bético.

En el bloque central del macizo aunque presenta un layering muy marcado en muchos puntos, no se observa una estructura definida.

El conjunto del macizo ultrabásico de Ojén, nos parece corresponder a una gran antiformal compartimentada, e interrumpida bruscamente en las líneas de contacto.

Los contactos del macizo presentan, al igual que en el macizo de Ronda, dos direcciones dominantes: la de máximo alargamiento bético y la NS., que son las líneas estructurales más importantes observadas en toda la región.

Incluso el que la apófisis ultrabásica de Alhaurín esté intruida en una zona en la que se interrumpe bruscamente los mármoles de Sierra Blanca, continuando éstos por la Sierra de Mijas que se inicia con un cierre periclinal, y estando separadas ambas por lo que denominaremos un "nudo tectónico" que facilita la intrusión básica, implica, en

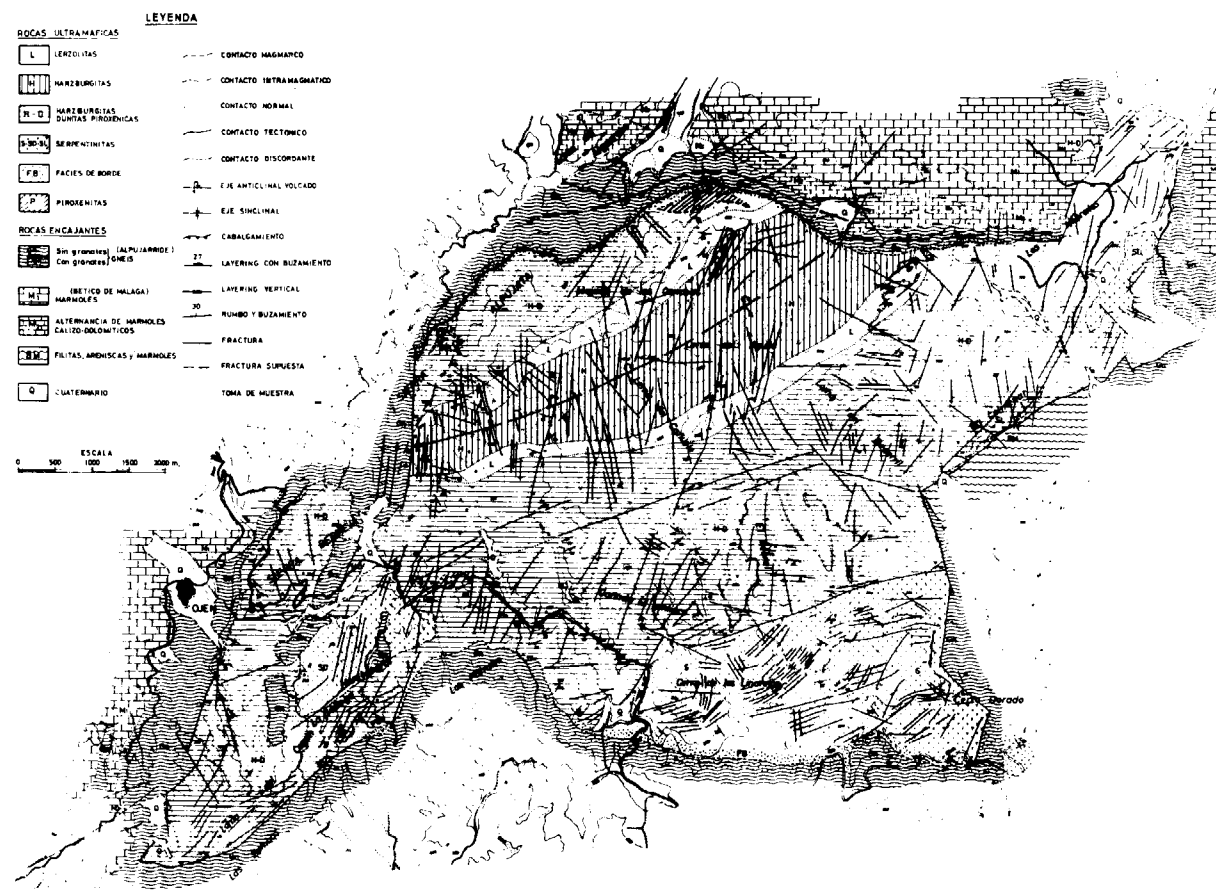


Figura 3

Mapa geológico del macizo ultramáfico de Ojén.

gráfica de estas unidades se ha realizado en relación con el número de rocas de igual composición que se encuentran en un determinado sector del macizo y, probablemente, entre ambas unidades deben existir todos los términos de transición.

Entre las dos áreas de lertzolitas y con un contacto de las mismas características que el anteriormente descrito, existe una unidad litológica de composición fundamental correspondiente a un harzburgita. Esta unidad parece constituir el tér-

Igualmente, hay que anotar la existencia de concentraciones de espinelas cromíferas, que llegan a constituir espectaculares asomos metálicos, algunos de los cuales han sido explotados. Estas concentraciones se realizan según el layering y creemos que han tenido lugar durante el proceso magmático, aunque después han sufrido removilizaciones por la acción de soluciones supergénicas posteriores.

Una desarrollada red de filones ácidos, de textura aplítica pegmatítica, nos habla de una fase in-

nuestro criterio, la existencia de una configuración tectónica previa del zócalo que determina la aparición de estas líneas dominantes, y controla la disposición actual de las rocas del área.

La compartimentación de la masa ígnea en tres bloques, según líneas de fractura N70E aproximadamente, ha determinado la formación de un graben, cuyo bloque hundido es el central y en el que existe un gran desarrollo de las serpentinitas. También es en este bloque hundido en donde quedan retazos de la cobertera ígnea.

En el contacto S. y en parte del E. del macizo, encontramos que las rocas ígneas se ponen en contacto con las de caja por medio de fallas, coincidentes en dirección con las que separan los grandes compartimentos tectónicos que corresponden a una fase de distensión, seguramente en un último estadio de la orogénesis alpina.

En los bloques levantados se puede observar la presencia de una desarrollada red de fracturas que en el Camorro (Bloque S.) tiene dirección dominante N60E, y en el bloque de los Castillejos (bloque N.) tiene dirección dominante NS.

Hay que significar la presencia, en el límite SE. del macizo, próxima a la casa del Camorrillo, de abundantes diaclasas paralelas que presenta a modo de pliegues sucesivos que se interrumpen en una fractura más moderna, tomando el conjunto un aspecto de "pliegue falla".

Todo lo anteriormente expuesto nos habla de una complicadísima tectónica, que incluso puede corresponder a fases de deformación superpuestas, cuyo estudio detallado se sale del ámbito de los fines para los que se está realizando nuestro trabajo en la provincia de Málaga.

EL MACIZO ULTRABÁSICO DE CARRATRACA

Al igual que en los macizos hasta ahora descritos, en el de Carratraca se realizaron recorridos de campo con el objeto inmediato de conocer la disposición general de su bandeo, para a partir de ella, programar una serie de perfiles de recogida de muestras de roca fresca, que al ser estudiadas al microscopio, nos ha servido para confeccionar un plano geológico de base.

Según se puede apreciar, a partir del estudio microscópico de las muestras tomadas, existen dentro del macizo cuatro unidades litológicas diferenciadas por su composición y textura (fig. 4).

En el SW. aparece una unidad de dunitas pi-

roxénicas-harzburgitas, cuyo layering se interrumpe bruscamente en los contactos con la roca de caja. Esta unidad estimamos que es la más inferior de todas las existentes, y en las zonas de contacto con los gneises no aparece la "facies de borde" que existe en otros puntos del macizo.

Al NE. de esta unidad se ha podido cartografiar un potente tramo de lertzolitas, de composición muy uniforme, en la que se observan piroxenos de hasta 3 centímetros de tamaño máximo. Al igual que en la anterior, su layering se interrumpe por el W. en el contacto con la roca de caja, y por el E. desaparece también en el borde, pero esta vez mediante fracturas que las pone en contacto con materiales del Eoceno-Oligoceno.

Más al Norte una zona de harzburgitas, con layering constante en rumbo y buzamiento, se interrumpe bruscamente en las líneas de contacto con la roca de caja.

Una última unidad, cartografiada en el NE. del complejo ígneo, está formada por la "facies de borde", de composición dunita piroxénica con granates y con ortopiroxenos tubulares de hasta 4 centímetros de dimensión máxima que se disponen paralelos al layering.

Los contactos entre estas unidades no corresponden a una línea definida observable en el campo, porque entre la composición de cada una de ellas existen todos los términos de transición.

Al igual que en los macizos de Ronda y Ojén, existe una red de filones ácidos, de textura aplítica y pegmatítica.

Las líneas de contacto de las peridotitas con las rocas de caja son en parte magmáticos, aunque en el S. del macizo hay que admitir la existencia de contactos tectónicos. En cuanto a las rocas de caja, una gran proporción corresponden a gneises de la Unidad Alpujárride de Casares, con abundantes granates en el NE. de la masa, en aquel punto en que aparecen las facies de borde en las peridotitas. Los materiales no metamórficos, datados como del Eoceno-Oligoceno, completan el marco geológico del macizo de Carratraca.

El macizo de Carratraca se caracteriza por la continuidad del rumbo de su layering, aunque el buzamiento tiene direcciones variables, lo que implica la existencia de deformaciones de pequeña cuerda.

La disposición de las unidades litológicas de este macizo sugiere que, al igual que en Ojén, su intrusión tiene lugar cuando ya estaba diferenciado. Las

características típicas de los contactos magmáticos, como son la presencia de granates y facies de borde, sólo se han visto en la mitad N.

Las diferencias topográficas existentes entre la mitad E. y la mitad W. así como la presencia en ésta de restos de cobertura, sugiere la existencia de

compartimentación en bloques del macizo, y aunque la disposición de la línea de contacto actual de las peridotitas formando un estrangulamiento, siguiendo una línea E-W., al S. de la carretera de Carratraca a Alora, avala lo dicho, no podemos afirmar taxativamente su existencia, porque en la

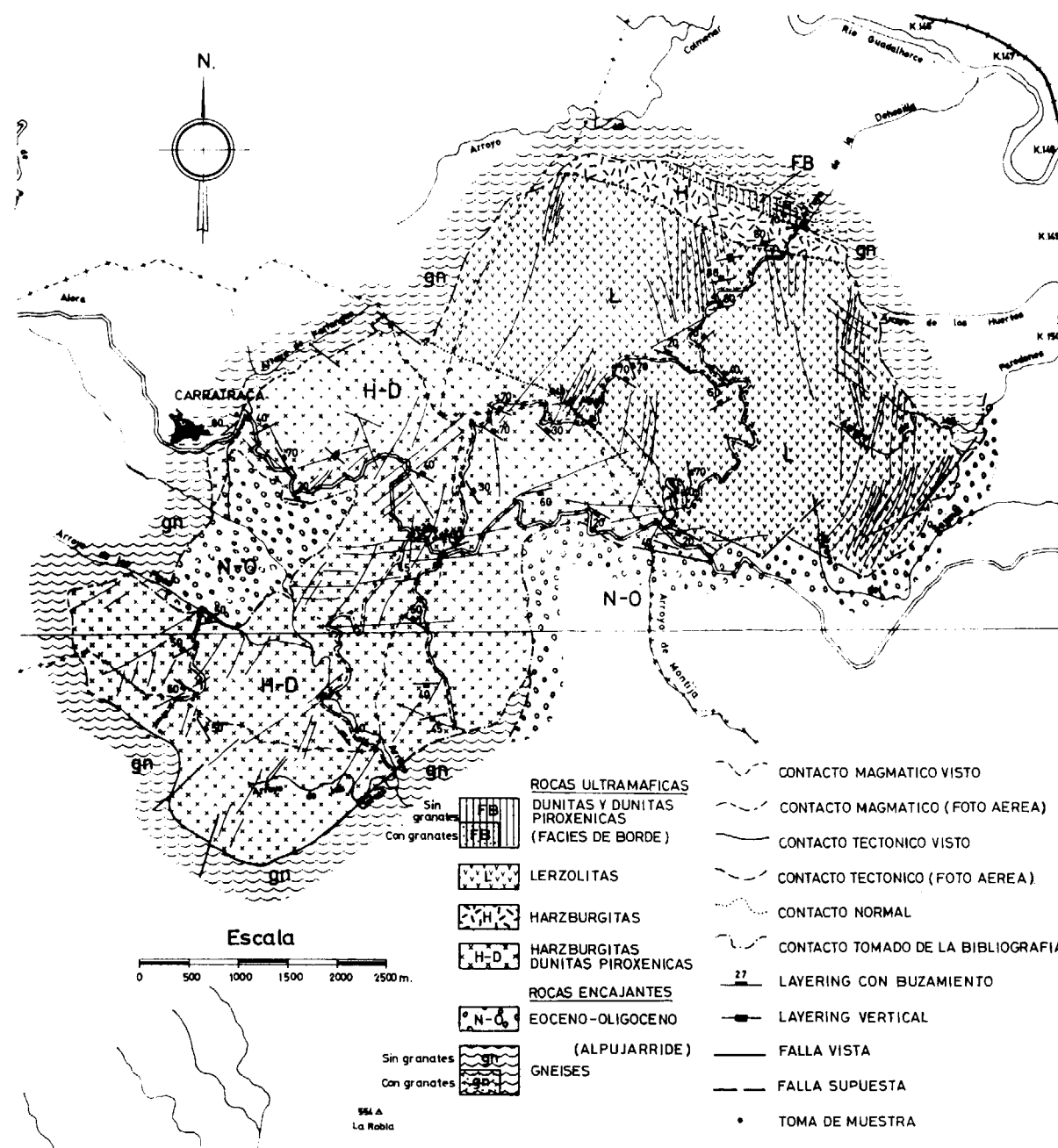


Figura 4

Mapa geológico del macizo ultrabásico de Carratraca.

fotografía aérea no se ven líneas estructurales definidas, ni en el campo (aunque sí existe serpentinización fuerte) se pueden recoger pruebas suficientes para aseverar esta hipótesis.

La presencia de una desarrollada red de diaclasas que afectan al conjunto se pone de manifiesto mediante el estudio de la fotografía aérea, pudiendo observarse que la dirección dominante de fracturación es la NS., aunque en la mitad S. aparecen numerosas fracturas de dirección N50E.

También en este conjunto está puesta de manifiesto la fase tardía de distensión, con gran desarrollo de fallas normales, que determinan el que las peridotitas se pongan en contacto con los materiales no metamórficos datados como del Eoceno-Oligoceno.

II PARTE: PETROGRAFÍA Y PETROGENESIS

PETROGRAFÍA

Tanto del análisis de los antecedentes bibliográficos como de la inspección microscópica inicial, confirmada posteriormente por los estudios cuantitativos, se dedujo, desde el primer momento, que las muestras estudiadas forman un grupo muy homogéneo caracterizado por el predominio de los componentes ferromagnesianos en su composición mineralógica. Exceptuando algunas de ellas en donde la proporción de plagioclasa supera ligeramente el 10 por 100 en volumen, el resto de las muestras son rocas ultramáficas (nomenclatura de Streckeisen, 1967) en donde los componentes fundamentales primarios son: olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno. Estos tres componentes suelen coexistir simultáneamente en todas las rocas, pudiéndose considerar excepcionales las muestras que carezcan de alguno de ellos. Los minerales del grupo de la espinela-cromita son accesorios constantes. La plagioclasa, en general, genéticamente relacionada con las espinelas, son accesorios que aparecen accidentalmente aunque con bastante frecuencia.

Por otra parte en todas las muestras existen en mayor o menor proporción fenómenos de sustitución de los minerales fundamentales (especialmente el olivino) por minerales del grupo de la serpentina y en menor cuantía por anfíboles del grupo de la antofilita (especialmente los piroxenos). Estas sustituciones son consecuencia de transformaciones epigenéticas de la roca ultramáfica. En parte

son debidas a la alteración meteórica pero también se han originado por fenómenos de recristalización de la roca ultramáfica durante el proceso de emplazamiento de los macizos en zonas superficiales.

Cuando la transformación secundaria es total, los minerales serpentínicos sustituyen a la mayor parte de los componentes primarios (olivino y piroxenos) en estos casos es más difícil establecer con seguridad la naturaleza y proporciones de los minerales primarios y por esta causa las rocas formadas por más de un 95 por 100 de serpentina serán denominadas serpentinitas.

En función de las proporciones relativas de olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno, se han establecido seis grupos mineralógicos para las rocas ultramáficas no alteradas totalmente, cuyas relaciones se observan en el diagrama triangular de clasificación (fig. 5) y que son:

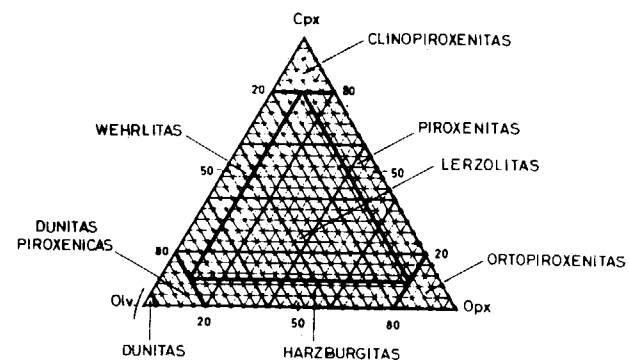


Figura 5

Diagrama triangular de clasificación de rocas ultramáficas.

Dunitas.—Rocas formadas casi exclusivamente por olivino (más del 95 por 100).

Dunitas piroxénicas.—Rocas formadas por una proporción muy elevada de olivino (más del 80 por 100) y piroxenos complementarios.

Harzburgitas.—Rocas con una proporción elevada de olivino, con un porcentaje de piroxenos superior al 20 por 100 en que el ortopiroxeno está en proporción superior al 10 por 100. Tienen clinopiroxeno en proporción, menor del 10 por 100.

Lerzolititas.—Rocas con una proporción elevada de olivino, con un porcentaje de piroxenos superior al 20 por 100 en que tanto el ortopiroxeno como el clinopiroxeno están en proporciones superiores al 10 por 100.

Wehrlitas.—Rocas con alto contenido en olivino, con piroxenos en proporción superior al 20 por 100,

en que el clinopiroxeno supera el 10 por 100 y el ortopiroxeno tiene un porcentaje inferior a 10 por 100.

Piroxenitas.—Rocas con poco o nada de olivino, formadas por ortopiroxeno y clinopiroxeno. Pueden contener granates.

En los grupos citados puede encontrarse plagioclasa o no, en proporciones reducidas.

A estos grupos mineralógicos hay que agregar el de las *serpentinitas* establecido previamente. Como se ha comprobado que el olivino es el mineral que más fácilmente se transforma en serpentina, puede, en principio, admitirse que las rocas clasificadas como serpentinitas serían inicialmente dunitas o dunitas piroxénicas.

Ciertos tipos de rocas asociados espacial y genéticamente a piroxenitas, contienen porcentajes altos de plagioclasa, por lo que no pueden conside-

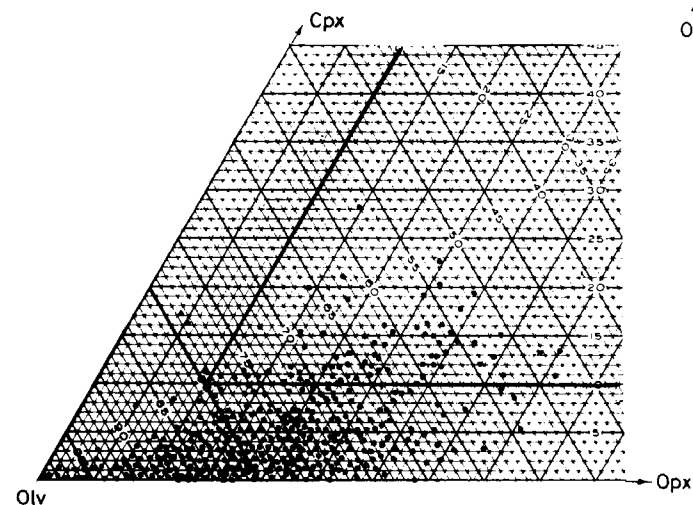


Figura 6

Posición de las muestras estudiadas del macizo de Ronda (exceptuando piroxenitas) en el vértice Oliv. del diagrama triangular de clasificación.

rarse como rocas ultramáficas, sino máficas. Se distinguen entre ellas noritas, gabros e hiperitas.

Señalamos que en las relaciones anteriores, las rocas máficas (gabros, noritas, hiperitas) que presentan estrechas relaciones espaciales y genéticas con las piroxenitas se han incluido en este grupo.

En las figuras 6, 7 y 8 se han proyectado en los correspondientes diagramas triangulares de clasificación de rocas ultramáficas, los puntos representativos de las muestras con análisis modal estudiadas en los macizos de Ronda, Ojén y Carratraca, dando idea gráfica de la similitud de composición

de los tipos más abundantes y del paso, generalmente insensible, de un tipo a otro.

Exceptuando las piroxenitas, la mayoría de las rocas quedan concentradas cerca del vértice del

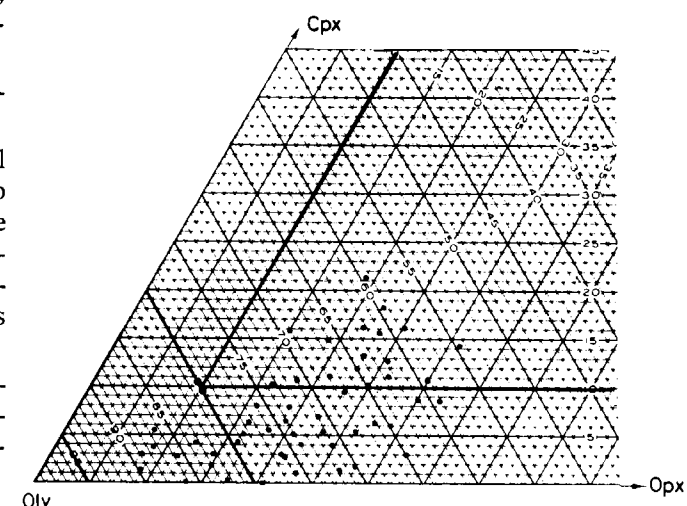


Figura 7

Posición de las muestras estudiadas del macizo de Ojén (exceptuando piroxenitas) en el vértice Oliv. del diagrama triangular de clasificación.

olivino, con desviaciones hacia el campo de las harzburgitas y otras en el de las lerzolititas. Solamente en el macizo de Ronda se han encontrado

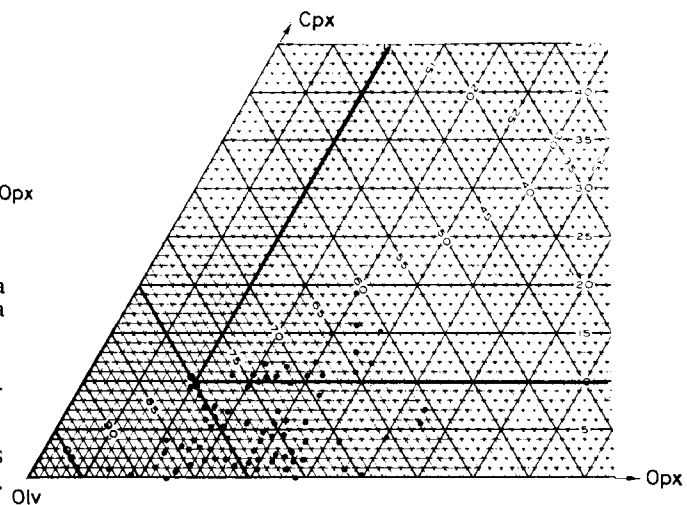


Figura 8

Posición de las muestras estudiadas del macizo de Carratraca (exceptuando piroxenitas) en el vértice Oliv. del diagrama triangular de clasificación.

tres rocas cuya proyección cae en el campo de las wehrlitas, aunque próximas a las dunitas piroxénicas.

En el cuadro I se da la clasificación petrográfica y la frecuencia de los distintos tipos de peridotitas estudiados en los macizos de Ronda, Ojén y Carratraca y la composición global en función de las muestras recogidas para estudio petrográfico.

CUADRO I

Clasificación y frecuencia de los distintos tipos de peridotitas estudiadas en los macizos ultrabásicos de Málaga

MACIZO DE RONDA

Tipo de roca	Número de muestras	Porcentaje
Serpentinitas	10	1,8
Dunitas	10	1,8
Dunitas piroxénicas	189	33,7
Harzburgitas	231	41,3
Lerzolititas	89	15,9
Wehrlitas	3	0,5
Total peridotitas	560	100
Metamórficas	42	
TOTAL	602	

MACIZO DE OJEN

Tipo de roca	Número de muestras	Porcentaje
Serpentinitas	33	25,7
Dunitas	1	0,8
Dunitas piroxénicas	29	22,6
Harzburgitas	43	33,7
Lerzolititas	18	14
Piroxenitas	4	3,2
Total peridotitas	128	100
Metamórficas	7	
TOTAL	135	

MACIZO DE CARRATRACA

Tipo de roca	Número de muestras	Porcentaje
Serpentinitas	7	11,2
Dunitas piroxénicas	10	16,7
Harzburgitas	26	43,4
Lerzolititas	17	28,7
Total peridotitas	60	100
Metamórficas	4	
TOTAL	64	

COMPOSICION GLOBAL

Tipo de roca	NUMERO DE MUESTRAS			Total	%
	Ronda	Ojén	Carratraca		
Serpentinitas	10	33	7	50	6,7
Dunitas...	10	1	0	11	1,5
Dunitas piroxénicas	189	29	10	228	30,5
Harzburgitas	231	43	26	300	40,0
Lerzolititas	89	18	17	124	16,6
Wehrlitas	3	0	0	3	0,4
Piroxenitas...	28	4	0	32	4,3
TOTAL...	560	128	60	748	100

Con objeto de evitar reiteraciones descriptivas se establecen a continuación los caracteres petrológicos y estructurales de las rocas estudiadas agrupándolas en tres grupos: uno correspondiente a las dunitas, otro para el conjunto de rocas más frecuentes (dunitas piroxénicas, harzburgitas, lerzolititas, y wehrlitas) y otro para las piroxenitas.

Dunitas.

Texturalmente, las muestras de este grupo son de grano medio a fino, panalotriomorfo y equigranular. Los cristales de olivino (figura 9) forman un mosaico homogéneo en el que aparece esporádicamente clinopiroxeno intersticial en cristales de menor tamaño; en estos últimos se observan finas exsoluciones laminares de ortopiroxeno. Los minerales accesorios, magnetita y espinela, aparecen como inclusiones en los granos de olivino; la primera, forma cristales idiomorfos o subidiomorfos de mayor tamaño que los de espinela, que son alotriomorfos y menos abundantes.

Los cristales de olivino están distintamente afectados por procesos de serpentización en los bordes y grietas en las rocas frescas y muy serpentinizados en otras; presentan extinción ondulante y fracturación en sectores como consecuencia de procesos de deformación mecánica. Con todo, la estructura cataclástica no es muy intensa en las muestras de dunitas estudiadas.

Dunitas piroxénicas, harzburgitas y lerzolititas y wehrlitas.

La paragénesis mineralógica primaria las rocas de este grupo, en orden decreciente de abundancia media es:

Olivino + ortopiroxeno + clinopiroxeno + espinela + plagioclasa.

En general el ortopiroxeno está en mayor proporción que el clinopiroxeno (harzburgitas), llegando a faltar en algunos casos este último mineral.



Figura 9

Dunita (MBR-43). Mosaico de cristales de olivino (N+; ×20).

El ortopiroxeno siempre existe, incluso en los tipos en que es más abundante el clinopiroxeno (wehrlitas y algunas lerzolititas). Entre los tipos con predominio de ortopiroxeno y los que tiene más clinopiroxeno existen todas las transiciones; las rocas forman por tanto una serie continua de variación; también hay serie continua en la variación de las proporciones de olivino.

El tamaño de grano es variable, de medio o grueso, formando los minerales un mosaico panalotriomorfo. En muchos casos la textura es equigranular, pero cuando el ortopiroxeno es relativamente abundante, forma cristales de mayor tamaño originándose variedades heterogranulares (figura 10). Es característico que el ortopiroxeno esté formando

placas más o menos alargadas, siempre alotriomorfas, de tamaño mayor que los demás minerales.

El clinopiroxeno suele presentarse como cristales de pequeño tamaño intersticiales con respecto a los dos componentes principales. Raramente alcanza tamaño de grano igual o superior al del ortopiroxeno.

La espinela más frecuente es un picotita cromífera de color pardo, tanto más oscura cuanto mayor contenido en cromo tiene. A veces aparecen espinelas de color rosado. Los cristales de espinela son siempre alotriomorfos, a veces lobulados. Cuando aparece plagioclasa, el feldespato forma una corona en torno a la espinela (figura 11) o está en



Figura 10

Harzburgita (MBR-75). Textura heterogranular en que el cristal de tamaño mayor corresponde a un ortopiroxeno (N+; ×16).

relación inmediata con ella. Se interpretan estas asociaciones como resultado de una reacción entre la espinela y los piroxenos monoclinicos (paragénesis establece a alta presión) producida en niveles

En general el ortopiroxeno está en mayor proporción que el clinopiroxeno (harzburgitas), llegando a faltar en algunos casos este último mineral.

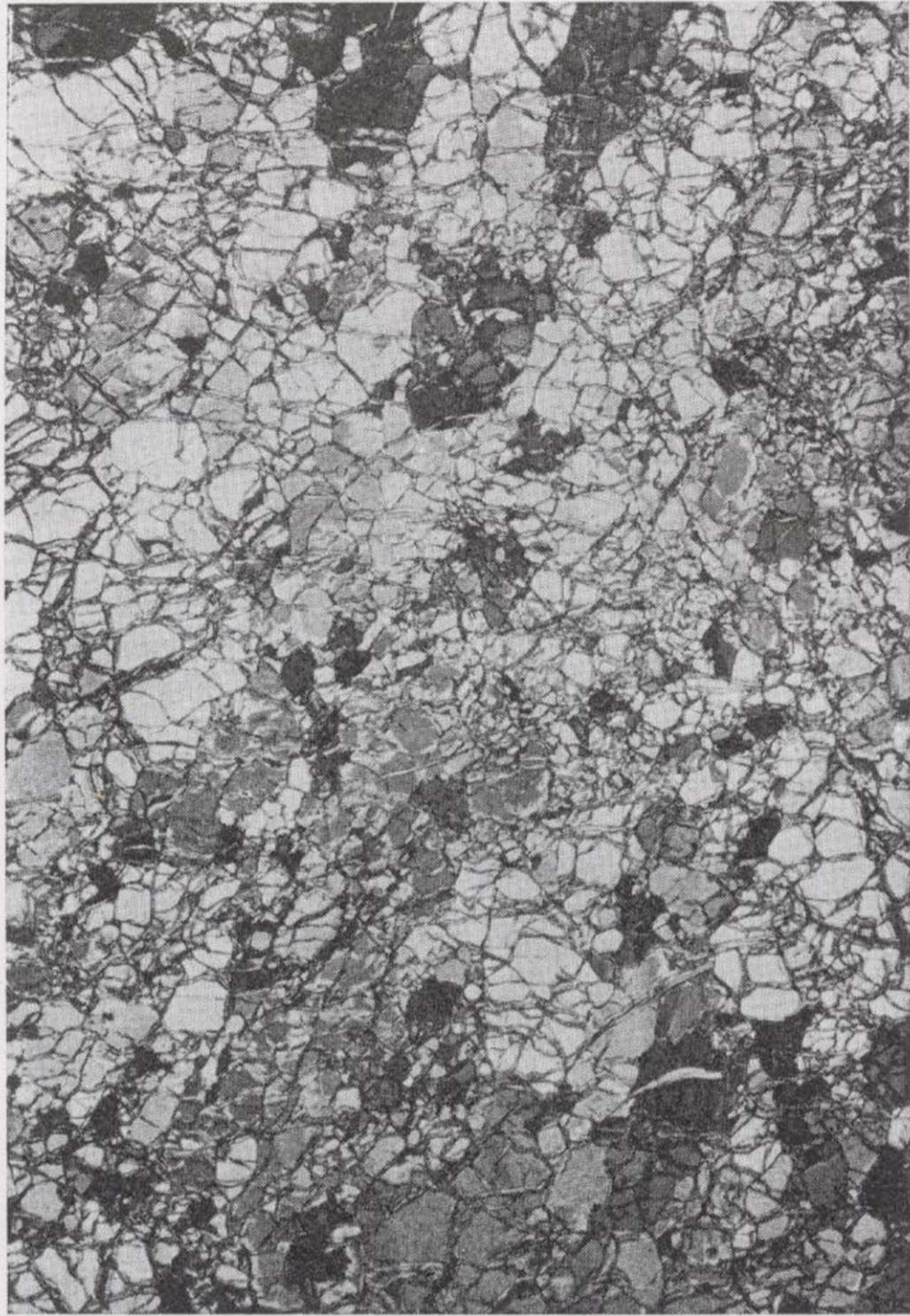


Figura 9

Dunita (MBR-43). Mosaico de cristales de olivino (N+; ×20).

El ortopiroxeno siempre existe, incluso en los tipos en que es más abundante el clinopiroxeno (wehr-litas y algunas lertzolitas). Entre los tipos con predominio de ortopiroxeno y los que tiene más clinopiroxeno existen todas las transiciones; las rocas forman por tanto una serie continua de variación; también hay serie continua en la variación de las proporciones de olivino.

El tamaño de grano es variable, de medio o grueso, formando los minerales un mosaico panalotriomorfo. En muchos casos la textura es equigranular, pero cuando el ortopiroxeno es relativamente abundante, forma cristales de mayor tamaño originándose variedades heterogranulares (figura 10). Es característico que el ortopiroxeno esté formando

placas más o menos alargadas, siempre alotriomorfas, de tamaño mayor que los demás minerales.

El clinopiroxeno suele presentarse como cristales de pequeño tamaño intersticiales con respecto a los dos componentes principales. Raramente alcanza tamaño de grano igual o superior al del ortopiroxeno.

La espinela más frecuente es un picotita cromífera de color pardo, tanto más oscura cuanto mayor contenido en cromo tiene. A veces aparecen espinelas de color rosado. Los cristales de espinela son siempre alotriomorfos, a veces lobulados. Cuando aparece plagioclasa, el feldespatos forma una corona en torno a la espinela (figura 11) o está en



Figura 10

Harzburgita (MBR-75). Textura heterogranular en que el cristal de tamaño mayor corresponde a un ortopiroxeno (N+; ×16).

relación inmediata con ella. Se interpretan estas asociaciones como resultado de una reacción entre la espinela y los piroxenos monoclinicos (paragénesis establece a alta presión) producida en niveles

más superficiales de menor presión donde es estable la plagioclasa. En algunas muestras la plagioclasa puede aparecer formando nódulos de varios cristales asociados, sin relación directa con espinela, con tendencia a formar acúmulos lenticulares con piroxenos, marcando la formación de microbandas irregulares de composición piroxenítica o norítica dentro de la peridotita. En estas muestras, la composición global dominante es la lertzolítica.

En todas las rocas de este grupo son más o me-

El ortopiroxeno es más resistente a la deformación llegando raramente a la fase de la granulación mecánica. Los fenómenos de deformación son sin embargo, perceptibles por las torsiones y deformaciones muy frecuentes en las láminas de exsolución o planos de exfoliación (figura 13). El clinopiroxeno se comporta de análoga manera aunque la deformación de planos de exfoliación o láminas es menos frecuente que en el ortopiroxeno (figura 14).



Figura 11

Harzburgita (OJEN-15). Detalle de la relación entre espinela y plagioclasa (N.//; $\times 25$).

nos perceptibles estructuras que se interpretan como debidas a deformaciones más o menos intensas de la roca provocadas por esfuerzos dinámicos.

El olivino, el mineral más sensible a estas deformaciones, aparece con extinción ondulante o fragmentado en láminas de deformación o con fenómenos de granulación cataclástica (figura 12) seguida de recristalización. Estos tres fenómenos representan estadios crecientes de deformación mecánica.

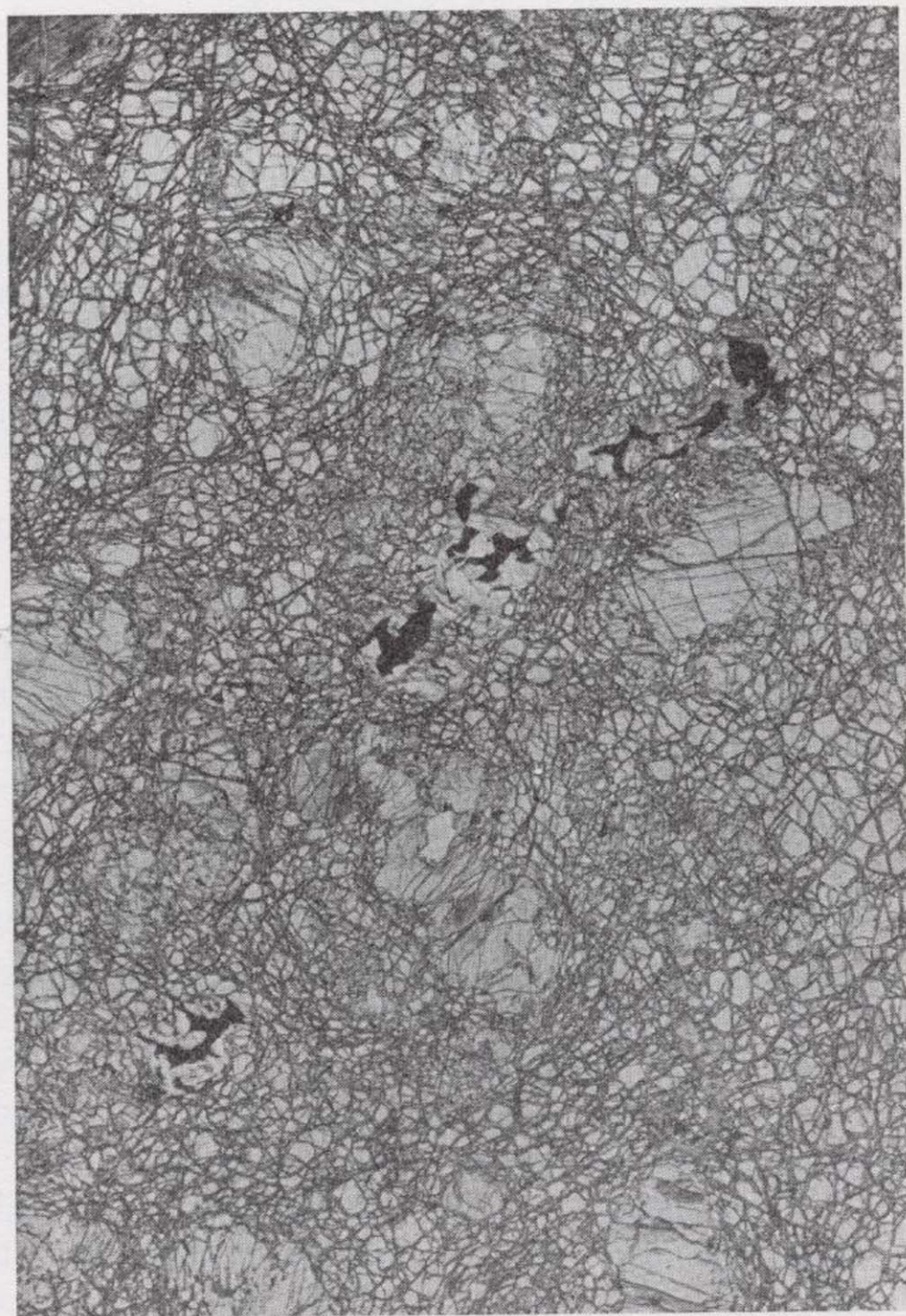


Figura 12

Dunita piroxénica (OJEN-3). Aspecto textural de la roca en que puede observarse los fenómenos de granulación cataclástica (N.//; $\times 16$).

En casos extremos de deformación, por granulación completa del olivino, se forma una matriz de grano fino en la que "flotan" los cristales de mayor tamaño de ortopiroxeno y clinopiroxeno, generándose estructuras porfidoclasticas de claro origen tectónico. En alguna muestra los pequeños cristales de olivino tienen hábito tabular y en otras,

también muy deformadas, se origina un bandeo debido a diferenciaciones de flujo según zonas de composición diferente.

Todos estos fenómenos de deformación mecánica parecen de origen tectónico. Aunque en este caso no se han realizado diagramas petroestructurales por no disponer de muestras orientadas, por comparación de las estructuras observadas al microscopio con las de otras muestras de la misma zona y de otras regiones donde se han realizado aquellas determinaciones, se puede admitir que la fábrica de muchas de estas rocas corresponden a la de rocas tectonizadas.

La deformación mecánica parece haber afectado con intensidad variable a todos los materiales es-

parcial de los minerales afectados, consideramos que la generación de estas estructuras de origen mecánico se ha producido durante el proceso de

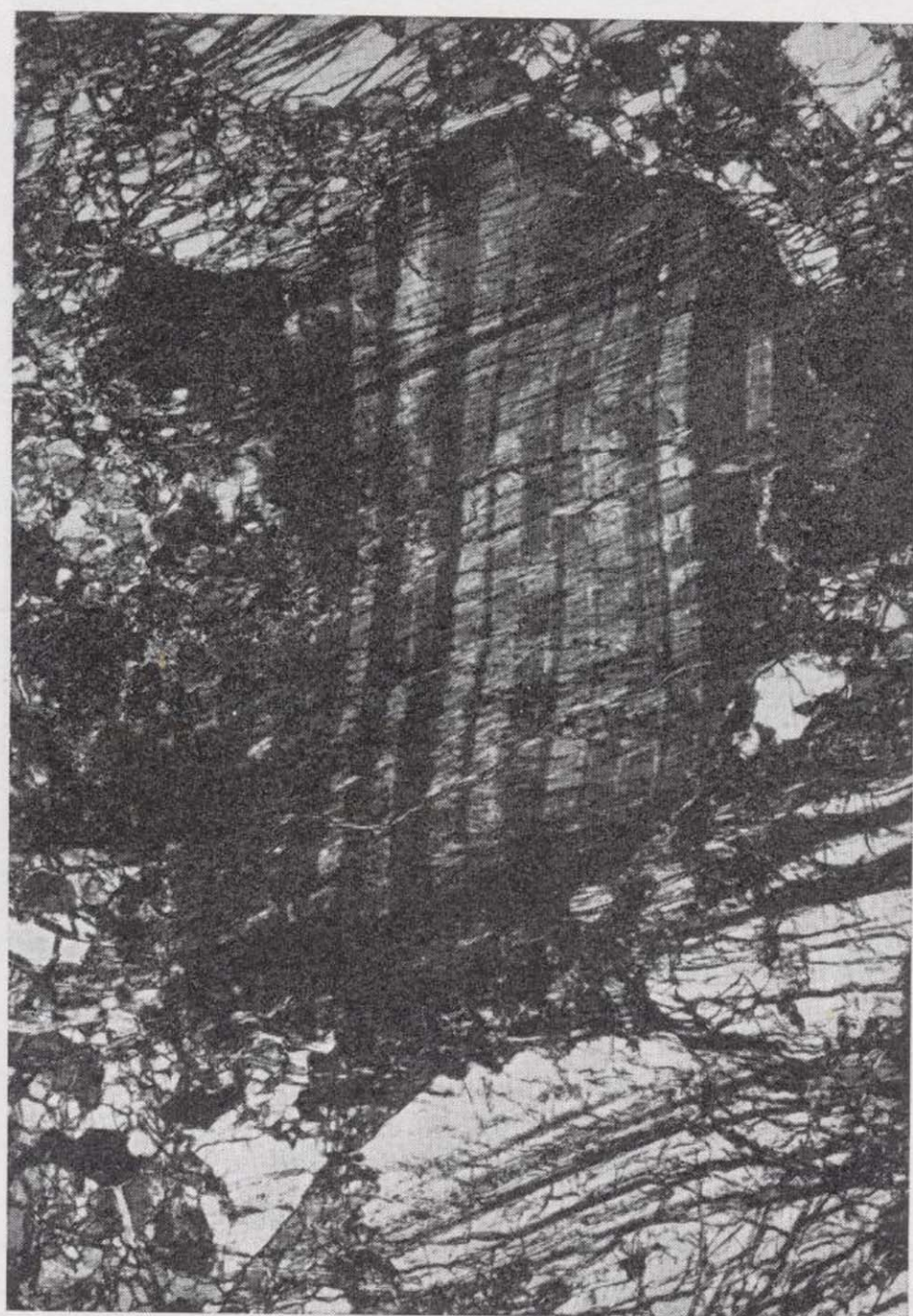


Figura 13

Harzburgita (MBR-41). Torsión y deformación de las bandas de exsolución en ortopiroxeno (N.+; $\times 20$).

tudiados; como por otra parte, la deformación es posterior a la formación de láminas de exsolución de los piroxenos y está seguida de recristalización



Figura 14

Lertzolita (MBR-60). Curvatura de los planos de exfoliación en clinopiroxeno (N.//; $\times 35$).

ascenso y emplazamiento de todo el macizo ultrabásico más que por una tectonización según planos definidos después que el macizo llegase a adquirir la posición actual.

El grado de alteración de estas rocas es muy variable. En todas ellas el olivino está al menos transformado en los bordes y grietas en minerales serpentínicos, aunque en muchos casos este material llega a sustituir pseudomórficamente a casi todo el cristal. El olivino queda reducido a pequeños núcleos aislados entre sí que conservan la orientación inicial. La serpentización está asociada también con la formación de óxidos de hierro secundarios que forman alineaciones de pequeños granos dentro de la masa de serpentina.

Cuando la serpentización del olivino es muy

avanzada el fenómeno de sustitución puede afectar parcialmente al ortopiroxeno en sus bordes y grietas. El clinopiroxeno se altera mucho menos.

Con más frecuencia, el ortopiroxeno es sustituido parcialmente por agregados de anfíboles alargados de pequeño tamaño que han sido diagnosticados como antofilita. Los agregados de antofilita a veces pueden sustituir completamente a los cristales de ortopiroxeno. Teniendo en cuenta las condiciones de formación de estos anfíboles se puede deducir que su generación ha tenido lugar antes que el macizo alcanzase su posición actual durante el proceso de ascenso de la masa ultramáfica desde las zonas profundas a los niveles superficiales en los que está emplazado.

Piroxenitas y rocas máficas feldespáticas.

Se han descrito anteriormente ciertos tipos de composición lertzolítica que tienen bandas irregulares en que se acumulan piroxenos, espinela y plagioclasa. Estos acúmulos pueden presentarse en forma de crecimientos muy finos originando texturas de tipo simplectítico. Cuando disminuye considerablemente la proporción de olivino, se pasa insensiblemente a un tipo de piroxenitas olivínicas.

En las piroxenitas con olivino, formadas por clinopiroxeno, ortopiroxeno, olivino, plagioclasa y espinela con antofilita secundaria, predominan las texturas granudas, panalotriomorfas de grano fino. El olivino forma un mosaico equigranular en el que destacan los cristales de mayor tamaño de ortopiroxeno y clinopiroxeno que también incluyen poiquilíticamente algunos cristales de olivino. En esta zona aparecen algunos cristales de olivino. En esta zona aparecen abundantes cristales de pequeño tamaño de plagioclasa maclada. Las rocas son estructuralmente heterogéneas, pues esporádicamente aparecen zonas lenticulares o alargadas de grano más grueso con abundantes espinela verde (no cromífera) clinopiroxeno, olivino y plagioclasa. El ortopiroxeno puede estar sustituido parcial o totalmente por antofilita.

Existen también piroxenitas sin olivino. En ellas el mineral más abundante es el clinopiroxeno. Tiene también una estructura heterogénea, pues aparecen zonas de grano medio alternando con otras de grano más fino.

Las rocas de mayor tamaño de grano están formadas por un agregado en mosaico de cristales de clinopiroxeno, y ortopiroxeno en cantidad subordinada, que destacan sobre un agregado de cristales de plagioclasa y clinopiroxeno de menor ta-

maño. En estas rocas hay espinela cromífera de color marrón. En las rocas de grano más fino, los minerales que aparecen son clinopiroxeno y plagioclasa con entrecrecimiento simplectítico (figura 15); aquí la espinela es verde, no cromífera.

En estas rocas los piroxenos han sido afectados en gran medida por procesos de deformación me-



Figura 15

Piroxenita (MBR-77). Textura heterogranuda, con zonas de grano grueso, otras de grano fino y desarrollo de simplectitas (N.//; $\times 16$).

cánica observándose estiramientos y líneas de exfoliación. Los cristales mayores de piroxeno se continúan en las zonas de crecimiento simplectítico de grano más fino. Puede suponerse que estas últimas han sido el resultado de una granulación cataclásica con recristalización posterior de una roca inicialmente homogénea; el hecho de que la espinela sea menos cromífera pudiera hacer pensar en una expulsión del cromo de las zonas de máxima deformación.

avanzada el fenómeno de sustitución puede afectar parcialmente al ortopiroxeno en sus bordes y grietas. El clinopiroxeno se altera mucho menos.

Con más frecuencia, el ortopiroxeno es sustituido parcialmene por agregados de anfíboles alargados de pequeño tamaño que han sido diagnosticados como antofilita. Los agregados de antofilita a veces pueden sustituir completamente a los cristales de ortopiroxeno. Teniendo en cuenta las condiciones de formación de estos anfíboles se puede deducir que su generación ha tenido lugar antes que el macizo alcanzase su posición actual durante el proceso de ascenso de la masa ultramáfica desde las zonas profundas a los niveles superficiales en los que está emplazado.

Piroxenitas y rocas máficas feldespáticas.

Se han descrito anteriormente ciertos tipos de composición lertzolítica que tienen bandas irregulares en que se acumulan piroxenos, espinela y plagioclasa. Estos acúmulos pueden presentarse en forma de crecimientos muy finos originando texturas de tipo simplectítico. Cuando disminuye considerablemente la proporción de olivino, se pasa insensiblemente a un tipo de piroxenitas olivínicas.

En las piroxenitas con olivino, formadas por clinopiroxeno, ortopiroxeno, olivino, plagioclasa y espinela con antofilita secundaria, predominan las texturas granudas, panalotriomorfas de grano fino. El olivino forma un mosaico equigranular en el que destacan los cristales de mayor tamaño de ortopiroxeno y clinopiroxeno que también incluyen poinquíticamente algunos cristales de olivino. En esta zona aparecen algunos cristales de olivino. En esta zona aparecen abundantes cristales de pequeño tamaño de plagioclasa maclada. Las rocas son estructuralmente heterogéneas, pues esporádicamente aparecen zonas lenticulares o alargadas de grano más grueso con abundantes espinela verde (no cromífera) clinopiroxeno, olivino y plagioclasa. El ortopiroxeno puede estar sustituido parcial o totalmente por antofilita.

Existen también piroxenitas sin olivino. En ellas el mineral más abundante es el clinopiroxeno. Tiene también una estructura heterogénea, pues aparecen zonas de grano medio alternando con otras de grano más fino.

Las rocas de mayor tamaño de grano están formadas por un agregado en mosaico de cristales de clinopiroxeno, y ortopiroxeno en cantidad subordinada, que destacan sobre un agregado de cristales de plagioclasa y clinopiroxeno de menor ta-

maño. En estas rocas hay espinela cromífera de color marrón. En las rocas de grano más fino, los minerales que aparecen son clinopiroxeno y plagioclasa con entrecrecimiento simplectítico (figura 15); aquí la espinela es verde, no cromífera.

En estas rocas los piroxenos han sido afectados en gran medida por procesos de deformación me-

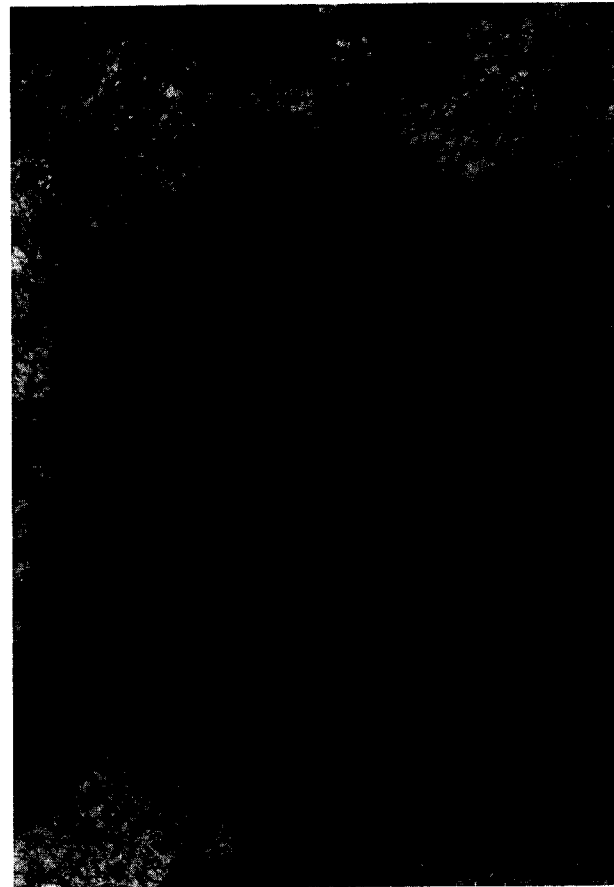


Figura 15

Piroxenita (MBR-77). Textura heterogranuda, con zonas de grano grueso, otras de grano fino y desarrollo de simplectitas (N.//; $\times 16$).

cánica observándose estiramientos y líneas de exfoliación. Los cristales mayores de piroxeno se continúan en las zonas de crecimiento simplectítico de grano más fino. Puede suponerse que estas últimas han sido el resultado de una granulación cataclásica con recristalización posterior de una roca inicialmente homogénea; el hecho de que la espinela sea menos cromífera pudiera hacer pensar en una expulsión del cromo de las zonas de máxima deformación.

También en estas rocas aparecen antofilita como producto secundario del ortopiroxeno en las zonas de grano más grueso. En las zonas de grano más fino donde aparecen la plagioclasa y el clinopiroxeno íntimamente entrecrecidos se han encontrado pequeños cristales de hornblenda parda y de flogopita, en proporción muy reducida.

Algunas de estas piroxenitas presentan granates en el centro de los crecimientos simplectíticos. En sección delgada el granate es incoloro o ligeramente rosado y se presenta en granos redondeados más o menos corroídos por las transformaciones simplectíticas.

En relación con las piroxenitas descritas existen en los macizos peridotíticos rocas con mayor contenido en plagioclasa que no pueden considerarse como rocas ultramáficas. Tienen como constituyentes principales piroxeno y plagioclasa, pudiendo haber pequeñas proporciones de olivino. Sus caracteres más sobresalientes son su composición feldespática y sus texturas bandeadas, alternando bandas de ferromagnesianos y plagioclasas. En función de su composición mineralógica pueden clasificarse como noritas y gabros con términos de transición de hiperitas.

Serpentinitas.

Dentro de este grupo se han incluido únicamente las rocas en que la transformación a serpentina es prácticamente total (serpentina más del 95 %).

Estas rocas están formadas por una masa de serpentina procedente de la alteración total de los olivinos en la que destacan algunos ortopiroxenos de mayor tamaño que conservan aún su forma inicial aunque están también transformados a serpentina y en algún caso a antofilita. Se observa además magnetita y óxidos de hierro, así como espinela correspondiente a los términos más oscuros, caso opacos.

Características ópticas de los minerales fundamentales de las peridotitas.

Sobre 41 muestras seleccionadas se han efectuado medidas con platina universal para determinar las características ópticas y composición química del olivino, ortopiroxeno y clinopiroxeno de los distintos tipos de peridotitas. También, de las mismas muestras se han hecho análisis químicos para el cálculo de su composición normativa.

Los resultados se tabulan en cuadros y se expresan gráficamente en histogramas. Sin detallar los

resultados del estudio es necesario hacer constar los siguientes puntos:

— Para el olivino los valores individuales extremos de ángulo de los ejes ópticos quedan comprendidos entre $2V_z=82^\circ$ y $2V_z=92^\circ$. Los valores más frecuentes quedan incluidos en el intervalo $2V_z=84^\circ$ y $2V_z=88^\circ$, es decir, que las medias de los olivinos están comprendidas entre 85 por 100 y 100 por 100 de forsterita. La media de los valores medios da un valor de 92 por 100 de forsterita.

— Los valores extremos del ángulo de ejes ópticos para el ortopiroxeno son $2V_x=92^\circ$ y $2V_x=106^\circ$. Los valores más frecuentes se concentran en el intervalo $2V_x=94^\circ$ y $2V_x=98^\circ$ que corresponden a contenidos en enstatita comprendidos entre 92 por 100 y 88 por 100.

— Para el clinopiroxeno el ángulo de los ejes ópticos varía entre $2V_z=50^\circ$ y $2V_z=66^\circ$, siendo los valores más frecuentes los comprendidos entre 54° y 60° . El ángulo de extinción ($Z\Delta C$) varía entre 37° y 43° . Estos valores ópticos corresponden a diópsidos ricos en magnesio.

— Cuando ha podido determinarse la composición de la plagioclasa, el contenido en anortita está comprendido entre 68 por 100 y 70 por 100. En los cristales maclados las leyes de composición más frecuentes son las de periclina y albita. Las plagioclasas no asociadas a espinela que aparecen en piroxenitas, tienen un contenido en anortita algo superior, del orden del 84 por 100.

PETROGÉNESIS

Carácter de los macizos estudiados.

Desde el punto de vista composicional la serie de muestras estudiadas correspondientes a los macizos peridotíticos del SO. de la Península, tienen carácter ultramáfico y ultrabásico muy acentuado. Como se deduce de los diagramas triangulares (figs. 6, 7 y 8) el 40 por 100 de las rocas tiene más del 80 por 100 de olivino modal; el 70 por 100 de las rocas, más del 70 por 100 de olivino; el 89 por 100 de las rocas más del 60 por 100 de olivino; y el 95 por 100 de las rocas tiene más del 50 por 100 de olivino modal. La media general de las rocas de los macizos estudiados tiene un 63 por 100 de olivino modal.

Estas cifras difieren muy poco de la media obtenida por Hernández Pacheco (1967) para el macizo de Ojén (obtenida a base de 12 análisis individuales) que tiene contenidos en olivino modal cercano al 60 por 100.

Con todos estos datos puede concluirse que los macizos peridotíticos de Málaga tienen una basicidad acentuada con predominio muy grande de rocas duniticas (40 por 100) o que se acercan a dunitas (70 por 100) sobre los demás tipos petrográficos.

La escasez de gabros o noritas en los complejos estudiados es un hecho notable, pues las únicas muestras con un contenido relativamente elevado en feldspatos son predominantemente piroxenitas muy ricas en minerales ferromagnesianos, o las rocas máficas feldespáticas citadas que presentan relaciones muy estrechas con los piroxenitas.

Los aspectos composicionales de los macizos de rocas ultramáficas son uno de los criterios que se utilizan para diferenciar el carácter de los complejos. En general los complejos estratiformes, aunque puedan tener rocas ultramáficas, están formados por una proporción relativamente alta o predominante de rocas de carácter gabroide. Lo mismo pasa con los complejos conocidos de peridotitas zonadas o de alta temperatura. En cambio, los complejos de tipo alpino tienen proporciones más altas de rocas ultramáficas con respecto a las rocas gabroides.

Composicionalmente los macizos de Ronda, Ojén y Carratraca se asemejan a los de tipo alpino, pues por término medio estos complejos son más ricos en rocas ultramáficas que otros complejos considerados como alpinos en el resto del mundo.

A título de orientación se da una lista de las estimaciones del porcentaje de rocas ultramáficas y gabroides en una serie de complejos peridotíticos alpinos del Mediterráneo Occidental.

	Rocas ultramáficas	Rocas gabroides
Guleman (Turquía)	90	10
Syria-Hatay (Turquía)	90	10
Troodos (Chipre)	30	60
Vourinon (Grecia)	80-90	10

Otros datos adicionales en favor del carácter alpino es el predominio de olivino muy magnésico ($Fo=92$ por 100), sobre el ortopiroxeno en las rocas ultramáficas, la falta de variación críptica en la composición de los minerales (acreditada por la forma de los histogramas de las propiedades ópticas de los minerales componentes) y la relación Mg/Fe muy elevada en toda la serie analizada.

Aunque desde el punto de vista composicional estos macizos pueden paralelizarse a los "alpinos", es necesario analizar también otros aspectos de los mismos como son los estructurales, morfológicos y las relaciones con las rocas encajantes.

Estructuralmente, si bien existen bandeados detectables a la escala megascópica, ni en la muestra de mano ni en las secciones delgadas se han encontrado las texturas acumulativas características de las rocas máficas o ultramáficas de los complejos estratiformes. Incluso los ejemplares menos afectados por deformación mecánica tienen texturas en mosaico panalotriomorfas.

Por el contrario, son casi generales los fenómenos de cataclasis, granulación e incluso laminación de origen mecánico, característicos de las peridotitas de tipo alpino y en menor grado de complejos zonales de alta temperatura, no sólo en las rocas de Ojén, donde ya se describieron por A. Hernández Pacheco (1967) estos fenómenos, sino en todas las muestras aquí estudiadas.

Como se ha descrito en el capítulo de geología, morfológicamente los macizos de Ronda y Ojén están estructurados como antiformal, a veces de plegamiento cilíndrico (mitad occidental del de Ronda) o isoclinal. El bandeo sigue generalmente estas direcciones mayores, siguiendo paralelo al borde en el cierre "periclinal" occidental de Ronda o estrellándose contra las rocas de caja en el resto de este macizo y en los de Ojén y Carratraca. En ocasiones se observan esquistosidades secundarias que cortan las estructuras mayores del bandeo, y también el desarrollo de "pliegues" con charnelas bien definidas dentro de las peridotitas, lo que podría interpretarse como producto de la deformación tectónica de materiales estructurados anteriormente.

Estos datos estructurales junto a la disposición de las distintas bandas litológicas cartografiadas, concordantes en su disposición con las foliaciones (layering) generales y teniendo además en cuenta la distribución de las facies ultramáficas en el macizo (aspecto que será tratado en el apartado siguiente) inducen a pensar que los macizos estudiados corresponden a complejos zonados.

Los complejos zonados de rocas ultramáficas hasta ahora descritas en la literatura, tiene una aureola de metamorfismo térmico bien desarrollada en torno a la intrusión.

El problema del metamorfismo de contacto será tratado en apartados siguientes a la luz de los antecedentes bibliográficos y de los datos deducidos de las observaciones de campo y el estudio petrográfico de muestras del contacto seguidos en esta investigación. Adelantamos que la conclusión final en este aspecto señala la presencia de tal metamorfismo, pero tal afirmación se basa en datos parcia-

les que a su vez plantean nuevos problemas, tales como la superposición de uno regional y otro de contacto cuya sucesión temporal habría que estudiar, etc.

Dado que tanto los complejos peridotíticos alpinos como los zonales son relativamente poco conocidos en su génesis, morfología, etc. y que tal conocimiento se limita frecuentemente a la descripción de ejemplos mundiales que resultan cada uno distinto a los demás, no extraña en forma alguna la dificultad de caracterización de los que nos ocupan, teniendo en cuenta, además, que aun en el caso de poder definirse precisamente, resultarían distintos a los ejemplos descritos en la bibliografía la mayor parte de los cuales se encuentran en la edición de Wyllie (1967).

Caracterizar si la estructuración general de los macizos como resultado de una intrusión múltiple, que produce zonación de los materiales ultramáficos, o como resultado de los efectos tectónicos del plegamiento, sólo puede solucionarse mediante un estudio petroestructural muy detallado tanto de los macizos peridotíticos como de las rocas encajantes. A este respecto los trabajos de Loomis (1972 a y b) sobre la concordancia estructural entre las rocas ultramáficas y las metamórficas en la transversal de Jubrique (Macizo de Ronda) son concluyentes en el sentido de afirmar que la estructuración general es debida fundamentalmente a los efectos mecánicos del emplazamiento de las masas ultramáficas. Análisis petroestructurales y mineralógicos como los descritos en estos trabajos deberían extenderse a otros puntos de los macizos, en que los contactos de las peridotitas con las rocas encajantes se consideran magmáticos, para comprobar regionalmente las conclusiones obtenidas en esta transversal.

Procedencia de las rocas ultramáficas.

Las asociaciones de minerales de las rocas ultramáficas definen paragénesis primarias que pueden agruparse en facies (O'Hara, 1967). En los macizos estudiados pueden distinguirse:

Facies	Paragénesis	Denominación
II	Fo-Di-En-An	Lerz. con ortopiroxenos y plagioclasas.
III	Fo-Di-En-Sp	Lerzolititas con espinela.
III-A	Di-En-An-Sp	Seiland (piroxenitas).
III-B	Di-En-Sp-Gr	Ariege (piroxenitas con granate).
IV	Fo-Di-En-Gra.	Lerzolititas con granate.

Las paragénesis primarias más frecuentes encontradas en los macizos estudiados son las que definen las facies II y III. Realmente la asociación de la facies II no existe como tal sino con espinela por lo que puede considerarse la existencia de una facies de transición entre la II y la III. Las subfacies III-A y III-B sólo se desarrollan localmente y apenas tienen importancia superficial en los macizos. La facies IV se desarrolla únicamente en algunos bordes de los macizos (ha sido llamada facies de borde). La masa principal de los afloramientos de ultramáficas estudiados corresponden a las facies III y a la transición II-III.

La facies II es estable según los datos de O'Hara (1967) hasta 9 kilobares de presión para temperaturas del orden de 1.300° C. La facies III es estable hasta cerca de los 20 kilobares para temperaturas del orden de los 1.400° C.

Podría pensarse que las rocas correspondientes a la transición de las facies II y III eran estables a presiones superiores a los 8 e inferiores a los 20 kilobares de presión en ambiente sólido, es decir, para temperaturas por debajo de 1.200 a 1.300° C. Estas presiones corresponden a profundidades superiores a 25-30 kilómetros e inferiores a 55-65 kilómetros, que hacen considerar a las peridotitas de Málaga como procedentes del manto superior.

La existencia de rocas de las facies IV eleva las condiciones de presión hasta 30 kilobares para temperaturas por debajo de unos 1.400° C, lo cual reafirma el carácter de peridotitas del manto.

Su emplazamiento, desde las grandes profundidades de formación, hasta los niveles superficiales que ocupan en el conjunto de materiales plegados de las Béticas pudo realizarse a favor de las grandes discontinuidades tectónicas longitudinales con respecto al eje del Mediterráneo en la zona de convergencia de las placas africanas y europea. El mecanismo de emplazamiento de los macizos peridotíticos como masas cristalizadas de carácter diapírico se explica detalladamente en el trabajo de Loomis (1972 b) para el macizo de Ronda, analizando las condiciones de presión y temperatura de la intrusión en relación a las condiciones de temperatura regional. Las temperaturas máximas de cristalización del orden de 1.200-1.300° C por nosotros deducidas coinciden con las dadas por Dickey (1970, en Loomis, 1972 b) y con el límite superior de la temperatura de la intrusión de la aureola metamórfica y el modelo de intrusión de la ter-

minación próxima a Jubrique deducidas por Loomis (1972 b).

Analizando la distribución de facies en los macizos de Málaga se tiene, de forma muy general: En la parte Occidental del macizo de Ronda, la facies IV se localiza siempre en los bordes. De esta zona, aproximadamente la mitad Sur tiene rocas de la transición entre las facies II y III (con plagioclasa) y la mitad Norte de las facies III (sin plagioclasa) exclusivamente. Hasta el Este de la línea de discontinuidad más Occidental, desaparecen las facies de borde y la distribución de la II-III y III es más difícilmente caracterizable aunque parece que la mayor parte de las rocas de esta zona tienen plagioclasa. Ello podría interpretarse como una traslación mecánica de todas las estructuras hacia el Norte, con algunos contactos (observados) cabalgantes sobre las rocas encajantes, que además de producir una estructura de pliegue isoclinal con vergencia Sur, haría desaparecer bajo el cabalgamiento las facies de borde y la III, característica de la parte Norte del macizo al Oeste de la discontinuidad citada. Esta interpretación está de acuerdo con la idea de una ligera rotación hacia el Norte o hacia el Noroeste de la masa ultramáfica durante su emplazamiento, sugerida por Loomis (1972 b).

En el macizo de Ojén prácticamente todas las rocas son de la facies II-III (con plagioclasas) en la masa principal y aparecen facies de borde (IV) en los contactos del Norte y Sur del macizo.

En el macizo de Carratraca la mayor parte de las rocas son de la facies III (sin plagioclasa) y aparecen rocas de la facies IV en el borde Nor-oriental. Esta configuración facial de los macizos de Ojén y Carratraca hace pensar que el primero es en cierto modo equivalente al de Ronda, y que el de Carratraca guarda estrechas relaciones con la parte Norte (zona Occidental del macizo de Ronda). Estas relaciones podrían señalar la conexión de todos los macizos entre sí, permitiendo considerarlos como partes aflorantes de mayores masas peridotíticas.

Transformaciones de las rocas ultramáficas durante el proceso de emplazamiento.

Las reacciones entre espinela y piroxenos para originar plagioclasa, pueden suponerse originadas en el proceso de ascenso de las masas ultrabásicas hacia la superficie. Esta reacción requiere considerable temperatura y puede suponerse que se desen-

cadena cuando las rocas ascienden lentamente desde las profundidades iniciales hasta profundidades menores de los 25 kilómetros, probablemente mucho menores si se admite un gradiente geotérmico normal (20° C/km., según Loomis, 1972 b).

De menor profundidad y temperatura es la transformación de ortopiroxeno en minerales de grupo de la antofilita que requiere además la presencia de agua para producirse, y aun menores la transformación de los minerales ferromagnesianos (fundamentalmente el olivino) en serpentina. La antofilita puede comenzar a formarse a temperaturas por bajo de los 700° C aproximadamente y puede ser estable aun después de la formación de serpentina que se inicia por bajo de los 500° C aproximadamente. Aunque es difícil realizar una evaluación de la serpentina que pueda haberse formado durante el proceso de emplazamiento y cual es la que pueda deberse a simple alteración superficial, las observaciones texturales indican que parte de ella se ha formado durante el proceso de ascenso.

Sobre el metamorfismo de contacto de las peridotitas con las rocas encajantes.

Uno de los puntos básicos para distinguir entre macizos peridotíticos de tipo alpino y de complejos zonales de alta temperatura es establecer la ausencia o presencia de metamorfismo en las rocas encajantes en los bordes de los macizos.

Las opiniones a este respecto de diferentes autores que han tratado el tema es diversa. Desde las primeras referencias bibliográficas hasta la actualidad ha seguido debatiéndose la cuestión. En el capítulo de antecedentes bibliográficos se encuentran resumidas por orden cronológico las distintas posiciones adoptadas frente a este problema, pero la realidad es que todavía no se ha realizado hasta la fecha un estudio serio y planificado que resuelva sin ningún género de dudas esta cuestión de vital importancia para la interpretación estructural y de emplazamiento de los macizos peridotíticos de Málaga.

Las últimas publicaciones al respecto (Buntfuss, 1967, Mauthe, 1971) señalan la presencia de cornubiáticas (gneises de cordierita) en torno a los macizos peridotíticos formados por efecto del metamorfismo de contacto de las rocas ultramáficas sobre los gneises con andalucita de la unidad Blanca.

Las observaciones de campo realizadas en este estudio conducen a definir la aparición de una aureola de granates en los gneises del contacto, que

desaparece cuando se alejan del mismo. Esto puede significar realmente el resultado de una acción metamórfica, o metasomática de las peridotitas sobre los gneises encajantes.

El estudio petrográfico de muestras de contacto aporta mayor complejidad al problema en vez de solucionarlo. Se han estudiado numerosas muestras de rocas encajantes tomadas en las proximidades del contacto y vamos a exponer los principales resultados.

La asociación mineralógica que puede considerarse común a la mayor parte de los gneises estudiados es:

Cuarzo-Ortosa-Silimanita-Granate-Biotita-Cordierita-Plagioclasa.

De esta asociación pueden faltar en algunas rocas algunos de los minerales, frecuentemente plagioclasa, ortosa y cordierita, por este orden. La silimanita, biotita y granate son generales en todas las muestras estudiadas. En rocas en que falta cordierita y/o plagioclasa es normal encontrar núcleos de sericita que por su forma de presentarse corresponden a los primitivos minerales citados muy alterados. En algunas muestras coexisten cristales más o menos frescos con otros totalmente sustituidos.

La asociación mineralógica citada corresponde a la subfacies de las granulitas hornbléndicas (véase Turner y Verhoogen, Ed. Española de 1963, página 585) muy semejante a la subfacies de silimanita-almandino-ortosa (facies de las anfibolitas almandínicas) pero con cordierita, que sólo es constituyente principal en algunas granulitas biotíticas. Esta facies se produce por metamorfismo regional intenso.

Pero la asociación citada puede ser también característica de la facies de las corneanas piroxénicas (cuarzo-ortosa-plagioclasa-andalucita (silimanita)-cordierita-biotita) producida por metamorfismo de contacto. En esta facies de contacto sólo aparece granate en rocas de alta relación de FeO/MgO.

De esta forma se ve cómo el solo estudio petrográfico de muestras de contacto no resuelven en forma concluyente el problema. Existen, no obstante, algunos aspectos petrográficos que apuntan hacia la existencia de superposición de efectos metamórficos sobre rocas previamente metamorfizadas. Tales son el alto grado de cristalinidad y cristalización de la silimanita (posible recristalización de una silimanita anterior o transformación de andalucita en

silimanita) las inclusiones anubarradas de silimanita en cordierita (cristalización de cordierita a partir de silimanita) aureolas de reacción en torno a los granates (?) y presencia de espinela.

De estas modificaciones la transformación de silimanita en cordierita y la presencia de espinela en las rocas de contacto han podido producirse por metamorfismo de contacto de las rocas ultramáficas sobre los gneises alpujarrides. Las aureolas de reacción de los granates y la cristalinidad de la silimanita podrían producirse por la acción de metamorfismo regionales superpuestos.

Esta serie de incógnitas no puede resolverse en función del estudio geológico y petrográfico realizado hasta ahora. Su complejidad y amplitud escapan con mucho a lo que ha podido abordarse dentro del estudio que nos ocupa y que es fundamentalmente el conocimiento de los macizos ultramáficos. Para su resolución sería necesario programar un estudio general del metamorfismo no sólo en las inmediaciones de las rocas ultramáficas sino en zonas alejadas, mediante la realización de perfiles centrífugos alrededor de los macizos con toma seriada de muestras para estudio petrográfico y geoquímico.

El trabajo de Loomis (1972 a) viene a suplir una importante laguna en el conocimiento del metamorfismo de contacto del macizo peridotítico de Ronda sobre las rocas encajantes. Mediante el detallado estudio petrográfico de muestras recogidas en la transversal de Jubrique, llega al establecimiento de isogradas de metamorfismo de contacto decreciente en sentido centrífugo desde el borde de la intrusión peridotítica (Asociación cuarzo-feldespatos K-biotita-cordierita-granate) hasta 6 kilómetros del contacto (cuarzo-sericita-clorita).

Creemos que el estudio del metamorfismo tal como lo ha efectuado Loomis en la transversal de Jubrique, debería extenderse a otros puntos del contacto magmático del Macizo de Ronda y a los Macizos de Ojén y Carratraca sobre todo en los puntos en que se observan facies de borde en las ultramáficas. Ello permitiría caracterizar más profundamente los aspectos del metamorfismo de contacto producido por las masas ultramáficas en la extensa región de sus afloramientos.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ DE LINERA, A.: *Reseña geognóstica y minera de la provincia de Málaga*. Soc. Malagueña Cienc. Bol., marzo-septiembre, pág. 161 (1851 a)

- ... Descripción del criadero de níquel de Carratraca. Málaga, 1851 (1851 b).
- BLUMENTHAL, M. M.: *Estudio geológico de las cadenas costeras al W. de Málaga entre el río Guadalhorce y el río Verde*. Bol. Inst. Geol. Min. Espa., 62, 11-189 (1949).
- BUNTFUSS, J.: *La geología de las cadenas costeras entre el río Verde y la franja de Gibraltar*. (Tesis) Ruhr-Universität Bochum (1967).
- DUPARC, L., y GROSSET, A.: *Étude comparée des gites platiníferos de la Serranía de Ronda et de l'Oural*. Mém. Soc. Phy. et Hist. Nat., 38, 5. Génève (1961).
- DÜRR, St.: *Geologie der Serranía de Ronda und Iher Südwestlichen auslaufer (Andalusien)* (Tesis). Geol. Rundsch., 6, 1-73 (1967).
- EZQUERRA DEL BAYO, J.: *Ensayo de una descripción general de la estructura geológica del terreno de España*. Mem. R. Acad. Cienc., 1 (2) (1850).
- FALLOT, P.: *Les Cordillères Bétiques*. Estudios geológicos, 8, 83-172 (1948).
- HERNÁNDEZ PACHECO, A.: *Estudio petrográfico y geoquímico del macizo ultramáfico de Ojén (Málaga)*. Estudios geológicos, 23, 85-143. Madrid (1967).
- KOLKEL, F.: *Die Geologie des Gebietes Zwischen dem Río Guadalhorce und dem Plateau von Ronda (Südspanien)*. (Tesis). Geol. Jb., 81, 413-489 (1964).
- LEVY, M., y BERGERON, J.: *Mission d'Andalousie, Etudes relatives au trblement de terre du 25 Décembre 1884 et á la Constitution géologique du sol ébranlé par les recourses*. Mém. Acad. Ca., 25, 2. París. Traducción Española: Bol. Map. Geol. Esp., 1890, 1891, 1892 (1889).
- LOOMIS, T. P.: *Contact metamorphism of Peletic Rock by the onda ultramafic intrusión, Southern Spain*. Geol. Soc. Am. Bull., 83, 2449-2474 (1972 a).
- *Diapiric Emplacement of the Ronda high temperature ultramafic intrusión, Southern Spain*. Geol. Soc. Amer. Bull., 83, 2475-2496 (1972 b).
- MAESTRE, A.: *Ojeada geognóstica y minera sobre el litoral mediterráneo desde el Cabo de Palos hasta el estrecho de Gibraltar*. Anal. Minas, 4, 145. Madrid (1846).
- MAUTHE, F.: *La geología de la Serranía de Ronda (Cordillera Bética Occidental)*. Bol. Geol. y Minero, 82, 1, 1-36. Madrid (1971).
- MCPHERSON, J.: *Memoria sobre la estructura de la Serranía de Ronda*. Rev. Med. Cádiz (1874).
- *Breves apuntes sobre el origen peridotítico de la Serranía de Ronda*. An. Sc. Esp. Hist. Nat., 4 (1). Madrid (1875).
- *Descripción de algunas rocas que se encuentran en la Serranía de Ronda*. An. Sc. Esp. Hist. Nat., 8. Madrid (1881).
- *Relación entre las formas orográficas y la constitución geológica de la Serranía de Ronda*. Madrid (1881).
- MOLLAT, H.: *Shichtenfolge und tektonischer Bau der Sierra Blanca und iher Umgebung* (Tesis). Geol. Jb., 86 (1968).
- O'HARA, M. J.: *Mineral facies in ultrabasic rock*. Ultramafic and related rocks., 7-17. Ed. Wiley and Sons (1967).
- ORUETA, D. DE: *Estudio geológico y petrográfico de la Serranía de Ronda*. Mem. Inst. Geol. de España, 1-571. Madrid (1917).
- STRECKEISEN, A. L.: *Clasificación and nomenclature of igneous rocks*. N. Jb. Miner. Abh., 107 (2), 1-214 (1967).
- TARAMELLI, T., y MERCALLI, G.: *Il terremoti andalusi cominciatì il 25 dicembre 1884*. Real Accad. Lincei. Roma (1886).
- TERMIER, H., y TERMIER, G.: *L'evolution de la Lithosphere I. Pétrogénese* Masson et Cia. Ed. París, 525-530 (1956).
- WYLLIE, P. J.: (editor) *Ultramafic and related rocks*. Ed. Wiley and Sons. N. Y. London, Sydney (1967).

Recibido: Octubre de 1973.

Exploración de las posibilidades níquelíferas en los macizos ultrabásicos de la provincia de Málaga (*)

Por A. SERENO GIL (**)

RESUMEN

El autor hace un breve resumen de la historia, aplicaciones y perspectivas económicas del níquel en el mundo y en España.

Este artículo es complemento del publicado en el fascículo V (núm. septiembre-octubre) de este Boletín en colaboración con Vicente Pastor Gómez, dando una más detallada información sobre los objetivos de la exploración y su desarrollo hasta el momento actual.

ABSTRACT

The author summarizes the history and applications of nickel, forecasting its economy in the world and Spain.

This work is a complement of a former one published in the fascículo V (n.º September-October) of the Boletín in collaboration with Vicente Pastor Gómez, with a new emphasis in the exploration objectives and their prospection.

1. BREVE BOSQUEJO HISTORICO MUNDIAL

El níquel fue descubierto en el año 1751 por el científico sueco Alex Constedt estudiando una mena de cobalto procedente de Häisingland (Suecia).

Al principio, este metal duro, lustroso y blanco como la plata, no sólo se le consideró inútil para cualquier aplicación, sino que incluso se le atribuyó un carácter "demoníaco" (su nombre deriva del alemán Nickel=genio de las minas), ya que en algunas minas hacía inutilizables menas de cobre de alta ley.

El primer uso importante del níquel comienza con el descubrimiento de la plata alemana (una aleación de níquel, cobre y cinc) que aunque conocida de antiguo en China, supuso una gran novedad en Europa por sus aplicaciones en orfebrería y cuber-

tería. Las necesidades de níquel para este uso no implicaron la creación de una minería específica; la industria alemana podía producir todo el níquel que necesitaba a partir de las menas de cobalto, antes despreciadas, que se extraían de Sajonia y Bohemia.

El empleo del níquel para la fabricación de monedas (cupro-níquel) y para el tratamiento anticorrosivo de superficies metálicas "níquelado" dio a este metal una importancia considerable, que originó su minería específica, alrededor del año 1850, con la explotación de los sulfuros noruegos, los cuales perdieron gran parte de su importancia con el descubrimiento y puesta en explotación de las menas oxidadas de Nueva Caledonia. La minería en la isla comenzó en 1875 y continúa desde entonces, siendo su principal explotadora la compañía francesa Le Nickel.

La presencia de níquel y cobre en Sudbury (Ontario), era conocida desde 1856. Sin embargo, el descubrimiento pasó inadvertido hasta que en 1883, en la construcción de una línea de ferrocarril por

(*) Este trabajo forma parte de los Proyectos de Investigación Minera que el IGME está realizando en la Provincia de Málaga.

(**) Dr. Ingeniero de Minas, Jefe del Departamento de Investigaciones Mineras del IGME.

la Canadian Pacific Railway, se cortó un afloramiento. Pronto se difundió la noticia, y en el año 1890, la mayoría de las mineralizaciones del distrito, que forman el mayor yacimiento conocido del mundo, había sido ya localizado. En 1902 se fundó la International Nickel Company que llevó una vida lánguida hasta que la primera Guerra Mundial provocó un espectacular aumento de la demanda.

En el año 1916, debajo de unas arenas y gravas de origen glacial situadas a 20 kilómetros al Noroeste de Sudbury, tuvo lugar el descubrimiento de otro cuerpo mineralizado de níquel, que dio lugar al nacimiento de la Falconbridge Mines Ltd.

La fundación de otra importante compañía en el mercado del níquel, la Sherritt Gordon Mines Ltd., está ligada al descubrimiento del yacimiento del Lynn Lake, en donde a partir de un pequeño afloramiento de 0,60x1,80 metros, y mediante campañas de estudios electromagnéticos y sondeos mecánicos, se puso en evidencia su verdadera dimensión. La puesta en marcha de la explotación se hizo a finales del año 1953.

La existencia de minerales oxidados de níquel en la provincia de Oriente (Cuba), era conocida desde antes de 1900, pero las desalentadoras dificultades para beneficiar las menas, hicieron que no se iniciara su extracción y beneficio por la Nicaro Nickel Company (subsidiaria de la Freeport Sulphur Company) hasta 1944, a causa de la fortísima demanda motivada por la Segunda Guerra Mundial.

También se han beneficiado menas niquelíferas en China, Burma, Indonesia, Alemania, Austria, Suecia, Rumania, Rusia, Grecia, Italia, Albania, Sudáfrica y Brasil; en todos estos lugares, o en casi todos, la producción continua, pero, con excepción de Rusia, cuyas cifras se ignoran, su valor total es pequeño ya que no supera, quizá, el 3 por 100 del total mundial conocido.

Con lo que antecede hemos recogido los hitos más importantes de la historia de la minería del níquel; puede apreciarse que se trata de un pasado reciente. Virtualmente la andadura completa de la metalurgia del níquel ha tenido lugar en el siglo presente, y la mayor parte de ella, en su segunda mitad.

2. SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO. UTILIZACIONES.

El níquel ocupa un lugar muy destacado entre los elementos metálicos; tanto que con el hierro y

el cobre se considera como uno de los pilares básicos que sustentan nuestra civilización.

Su gran valor se basa en las propiedades anti-corrosivas que proporciona a las aleaciones en las que interviene.

Los aceros al níquel son vitales en los modernos armamentos, así como las superaleaciones a base de níquel son imprescindibles en las toberas de propulsión de los cohetes espaciales por su resistencia a altas temperaturas.

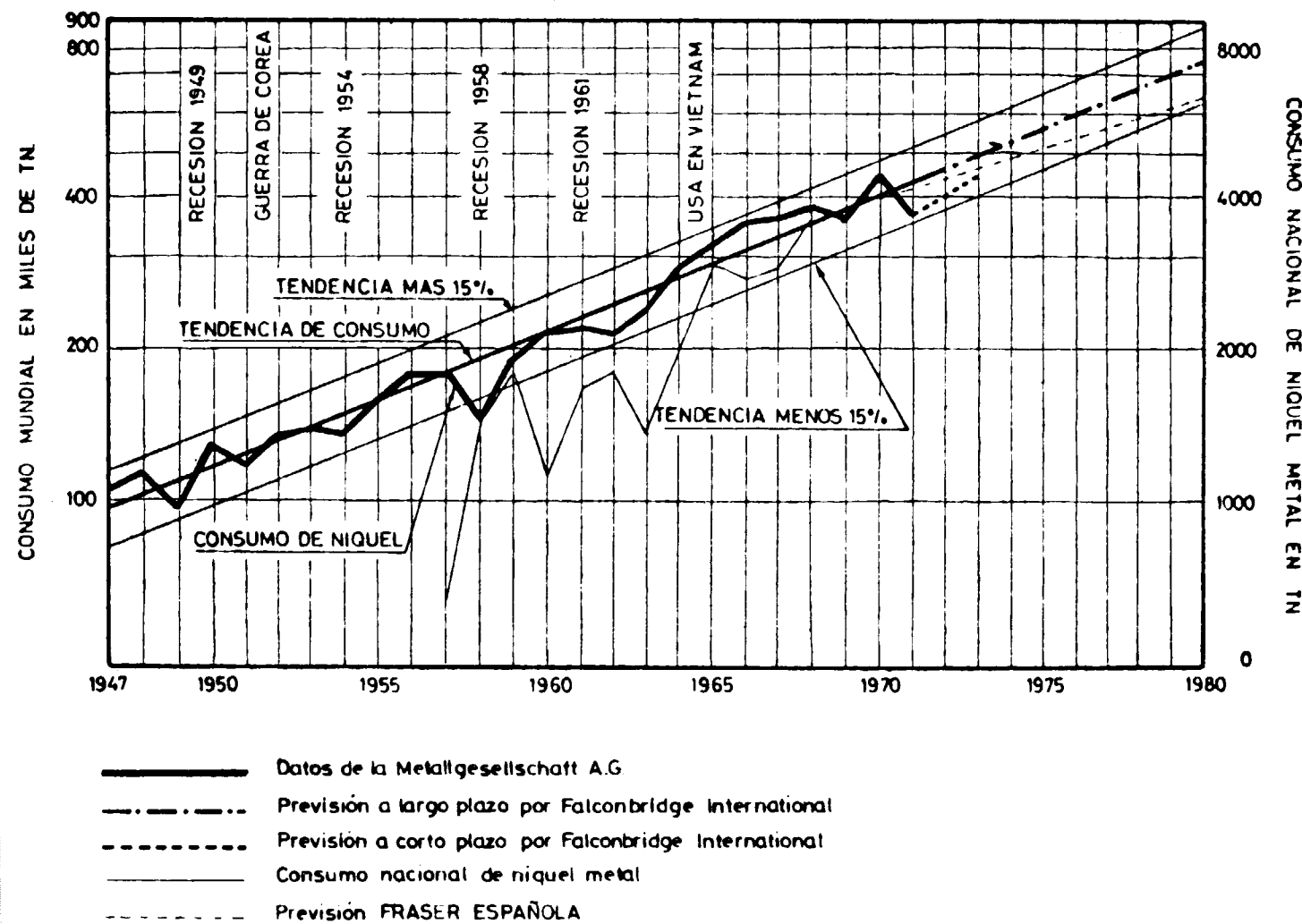
Se utiliza en las industrias naval, química, del petróleo y eléctrica. Sus aplicaciones en tintes y pigmentos, como insecticida, en las plantas de desalinización y potabilización del agua del mar y siempre que se precise resistencia a la corrosión a altas temperaturas, y sobre todo, las ya mencionadas aplicaciones bélicas y espaciales, hacen del níquel un mineral estratégico cuyo valor, en tiempo de guerra, aumenta más rápidamente que cualquier otra sustancia.

Existen otros materiales que se pueden utilizar en lugar del níquel, con sus mismas aplicaciones. Sin embargo, con pocas excepciones, estos materiales alternativos suponen; o un aumento en los costes, o un detrimento en las características físicas o químicas de los productos y, por tanto, un encarecimiento o un peor comportamiento de los mismos.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, parecería correcto pensar que el campo de aplicación del níquel es completamente conocido, pero la realidad es que las investigaciones en marcha, buscando materiales que cumplan las exigencias que los avances tecnológicos imponen, están abriendo nuevos caminos a la aplicación de este metal, y es razonable pensar que para el año 2000, el níquel ocupe un lugar de privilegio en la industria, por lo que cabe esperar que su consumo se ajuste a los datos de la figura 1, en la que se puede ver también la evolución previsible de su precio.

El níquel se comercializa, principalmente, en forma de cátodos, polvo, briquetas y pellets, o bien como ferroníquel o como óxido sinterizado. Los primeros alcanzan gran pureza (más del 99,5 por 100 en Ni); como ferroníquel suele contener del 30 al 35 por 100 de níquel y como óxido sinterizado llega al 77 por 100.

CONSUMO TOTAL DE NIQUEL EN EL MUNDO LIBRE Y EN ESPAÑA



EVOLUCION DEL PRECIO DEL NIQUEL

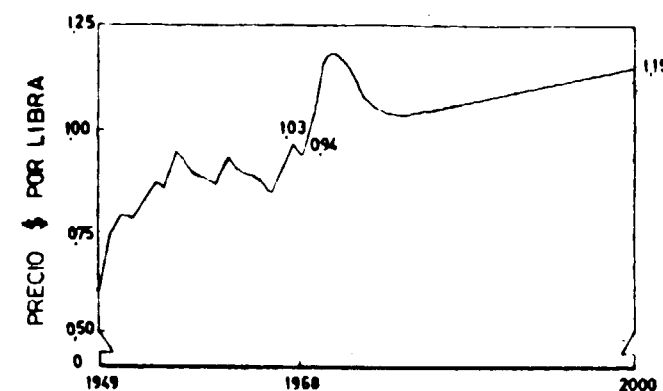


Fig. 1

3. RESERVAS Y PRODUCCION MUNDIALES

De un modo muy general, se consideraban (año 1968) como reservas aprovechables aquellas cuyo costo de extracción era de dos dólares por kilogramo de níquel contenido.

Tomando como base el criterio anterior, las reservas mundiales de este metal se cifran en unos 75.000 millones de toneladas, pero esta estimación se basa en datos fragmentarios y probablemente la realidad sea más alta.

La situación de las reservas mundiales se ve presidiada por un aumento del significado económico de las menas lateríticas. Además de estas reservas, hay decenas de miles de millones de toneladas de baja ley repartidas por el mundo, que hoy son menas potenciales, pero que la tendencia al alza del valor del níquel, convertirá en reservas tal como ocurrió durante los veinte años que van del 1948 al 1968, durante los cuales, el aumento de precio del níquel permitió la extracción económica de las lateritas en Guatemala, República Dominicana e Indonesia.

El níquel se beneficia también como subproducto de algunas menas de cobre, y en algunos casos como subproducto del cobalto, la plata y el platino. Como subproducto aleado con el hierro, en forma de pellets de ferróníquel, se introdujo por primera vez en el mercado en 1969.

Algunas minas de sulfuro de níquel, producen también cobre, oro, plata, cobalto, telurio, selenio y platino y su grupo.

La recuperación del níquel a partir de los desechos de la industria, encierra problemas verdaderamente difíciles. El proceso es largo y lento, con recuperaciones bajas, con utilización de reactivos costosos y altamente corrosivos y además la separación del níquel y el cobalto, complicada. Todo ello hace que el ajuste del suministro de níquel de recuperación a la demanda tenga graves dificultades, como quedó bien patente entre los años 1966 y 1969.

Con excepción de los países comunistas, las producciones mundiales han sido las siguientes, según la Falconbridge International Lts.:

Años	Miles de toneladas
1969	335
1970	481
1971	456
1972	429

Las previstas, según la misma fuente de información, son:

Años	Miles de toneladas
1973	462
1974	515
1975	548
1976	584

La comparación de las anteriores cifras, con las expresadas en la figura 1, pone de manifiesto el déficit progresivo de la producción frente al consumo, lo que supone una revalorización del metal y, por tanto, la posibilidad de explotación de menas hoy consideradas potenciales por su baja ley.

4. MINERALES DE NIQUEL Y TIPOS FUNDAMENTALES DE CRIADEROS MUNDIALES

4.1. MINERALES

a) Sulfuros: Pentlandita=(Ni, Fe)₉S₈ con 34,22 por 100 de Ni; es el más frecuente.

Milerita, Heazlewodita y Polidimita, son sulfuros de níquel exclusivamente, con contenidos que oscilan entre el 60 y 70 por 100 en Ni.

Sulfuros de níquel y cobalto, forman la serie de la Lineita con porcentajes variables de níquel.

b) Arseniuros: Niquelina, NiAs con 44 por 100 en Ni, es el principal.

Maucherita y otros, con contenidos en Ni entre 28 y 51 por 100.

c) Silicatos: Grupo de la Garnierita (Ni, Mg)₆Si₄O₁₀(OH)₈, composición variable en Ni y Mg, que puede llegar al 47 por 100 en Ni.

d) Oxido: Limonita niquelífera, (Fe, Ni)₂O(OH)₃·H₂O, de leyes en Ni variables, pero siempre bajas.

Los minerales a) y b) forman las menas llamadas sulfuradas y los c) y d) las oxidadas.

4.2. YACIMIENTOS

Los yacimientos mundiales de níquel se encuentran *asociados* a rocas básicas y ultrabásicas. Existen concentraciones en relación con otros tipos de rocas, pero su importancia no es significava en la producción mundial.

En el grupo peridotítico es donde más abunda el níquel, pero precisa encontrarse con azufre para formar menas sulfuradas. Dado que la relación S/Ni es tanto menor cuanto más básica es la roca, no han de buscarse, de un modo general, en los términos extremos de la serie peridotítica en la prospección de yacimientos primarios sulfurados.

La concentración en yacimientos secundarios se produce por descomposición de las serpentinitas, desplazamiento del Mg y Si y concentración residual de sus elementos metálicos. Posteriormente el níquel se disuelve en las capas más elevadas de las lateritas y reprecipita en las capas inferiores de la zona de transición. Las peridotitas más aptas para desarrollar este proceso son las más magnesianas, carácter que presentan las de los macizos de Málaga.

La producción de níquel a partir de menas sulfuradas, supone, aproximadamente, el 75 por 100 de la total mundial, mientras que el 25 por 100 restante procede de menas oxidadas. Sin embargo, en cuanto a reservas, las cifras pueden considerarse invertidas. Hoy en día se considera a los yacimientos lateríticos como los de mayor importancia en el futuro.

4.2.1. Yacimientos de menas sulfuradas.

El yacimiento más importante del mundo es el de Sudbury (Ontario), que suministra el 65 por 100 de la producción mundial. La paragénesis, como en todos los casos de menas sulfuradas, es pentlandita-calcopirita-pirrotina, encontrándose los tres minerales íntimamente mezclados. Arma en los bordes de una corona norítica de 4×60 kilómetros, siendo las guías principales de la mineralización las zonas de cizallamiento y las brechoides. Su ley media viene a ser 1,5 por 100 de Ni. En la mina Froid-Stobie, la más productiva del distrito (pode-

mos decir la más productiva del mundo), arma el mineral en cuarzo-diorita, donde la norita penetra el basamento, típico ejemplo de depósito en off-set, lo que nos muestra que las acumulaciones de níquel se *asocian* a rocas básicas, aunque no es imprescindible que armen en ellas.

Además del de Ontario, existen yacimientos de sulfuros en la base o apófisis de rocas básicas en Rusia, Noruega, EE. UU., Africa del Sur, y en otros distintos de Canadá.

En el cuerpo de las peridotitas podemos citar los yacimientos de Nivala (Finlandia), Gorden Lake (Ontario) y con ferróníquel el de Awaruy Bay (Nueva Zelanda).

En peridotitas serpentinizadas tenemos: Texmon (Ontario), Ungava (Québec), Giant Mascot (Columbia Británica) y otros varios, pero ya sin valor comercial.

Como en Sudbury, en todos estos yacimientos juegan un papel importante la fracturación, la brechación y la posición más o menos próxima de los contactos.

Según el criterio de englobar dentro de menas sulfuradas a los arseniuros, podemos citar aquí, los yacimientos de Konvuasky (Rusia), Bou Azzer (Marruecos) además de otros. En este tipo de mineralización entra la de la Mina Gallega de Málaga.

4.2.2. Yacimientos de menas oxidadas.

De un modo general se trata de lateritas, sensu lato, con silicatos secundarios de níquel y hierro.

El yacimiento más importante del mundo es el de Nueva Caledonia, con unas reservas de unos 1.500 millones de toneladas de mena cuya ley oscila entre 1 y 5 por 100 en níquel, si bien la mayor parte tiende a la ley más baja.

En la mayoría de los yacimientos mundiales de menas oxidadas, el horizonte explotable no sobrepasa los 30 metros. Las leyes de explotación más frecuentes se mueven alrededor de 1,3 a 1,4 por 100 en níquel.

Como ejemplos podemos citar: Riddle (EE. UU.), Guatemala, Cuba (Nicaro, Bahía de Moa, Mayori), Venezuela, Frankenstein (Baja Silesia), República Dominicana, Indonesia, Filipinas, Yugoslavia, Ural (Rusia) y recientemente Australia.

5. EL NIQUEL EN ESPAÑA

5.1. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

Teniendo en cuenta la demanda de níquel calculada para los próximos años, como consecuencia del aumento considerable que ha de sufrir la industria siderúrgica, según lo previsto en los Planes de Desarrollo, se deduce que el importante incremento en el consumo de níquel supondrá un aumento en el gasto de divisas, máxime si se considera el alza constante de su precio en el mercado internacional, derivado del continuo desajuste entre el aumento de la demanda y la producción, con la agravante de que, al no existir producción nacional, el consumo se abastece exclusivamente en los mercados exteriores.

El valor medio anual de las importaciones en el período 1964-1968 se elevó a 796 millones de pesetas, con un ritmo medio de crecimiento anual del 27,5 por 100. En 1968 el valor de las importaciones de níquel alcanzó los 1.199 millones de pesetas.

Las exportaciones representan un valor de escasa cuantía (28 millones de pesetas como media anual) y corresponden al níquel incorporado en aceros aleados.

La importación media anual de metal, desperdicios y desechos, en el período 1964-1968 fue de 2.840 toneladas, con un ritmo de crecimiento del 17 por 100 anual, alcanzándose en 1968 la cifra de 3.617 toneladas, de las que el 99 por 100 correspondieron a metal y el resto a desperdicios y desechos.

Se han formado dos hipótesis acerca de los valores que podría registrar el consumo de níquel en el futuro.

La primera hipótesis se basa en mantener en el futuro la tendencia observada en los diez últimos años. Según ella, se consumirían 4.779 toneladas de níquel metal en 1975 y 5.884 toneladas en 1980.

La segunda hipótesis supone un crecimiento del 5 por 100 anual, acumulativo, en el consumo de acero bruto en los próximos años (las previsiones oficiales abarcan hasta 1975 y lo cifran, hasta esa fecha, en un 10 por 100). El consumo de níquel, calculado sobre esta referencia, sería de 5.085 toneladas en 1975 y 6.489 toneladas en 1980.

Basados en los datos anteriores se ha dibujado

la figura 1, en cuanto al consumo nacional se refiere.

5.2. PROGRAMA SECTORIAL DEL NIQUEL

El Programa Sectorial del Níquel abarca 5 subsectores seleccionados en todo el país, por concurrir en ellos una serie de circunstancias favorables recogidas en la monografía de esta sustancia que se inserta en el tomo correspondiente del documento presentado por el Plan Nacional de la Minería al III Plan de Desarrollo.

El Subsector I Sur, Area I, que comprende la Reserva de Málaga, y cuya ubicación se sitúa en la figura 2, se consideró como la más interesante, por lo que comenzó a ser estudiado en un primer proyecto ejecutado en 1971.

Las posibilidades niquelíferas en los macizos ultrabásicos de Málaga son muy variadas si se considera la tipología mundial de yacimientos de esta sustancia. Es indudable que todos los yacimientos del mundo están ligados a rocas ultrabásicas en condiciones que cabe esperar se vean reproducidas en los macizos que nos ocupan. En consecuencia, se llegó a la conclusión de que solamente un reconocimiento muy profundo de la geología y de las mineralizaciones existentes, podría orientar, por analogía con otras zonas productoras del mundo, no sólo el enfoque de la exploración, sino también servir de base para la interpretación de los métodos indirectos de prospección: geofísica y geoquímica.

5.2.1. Breve historial minero del níquel en Málaga.

En el año 1851, Alvarez de Linera habla de explotaciones de níquel que se remontan a 1840. Parece ser que en la segunda mitad del siglo XIX, en la zona de Carratraca había más de 500 minas en explotación simultánea. A finales del siglo, los mineros ingleses se interesaron de un modo especial por la zona, como lo demuestran los toponímicos de algunas de las minas explotadas en aquellas fechas.

Se sabe que a principios del siglo actual, volvieron a realizarse trabajos de explotación sobre labores antiguas en puntos donde se encontraron nuevas mineralizaciones. Todos ellos están magistralmente descritos por Domingo de Orueta en su monumental monografía "Estudio geológico y petro-

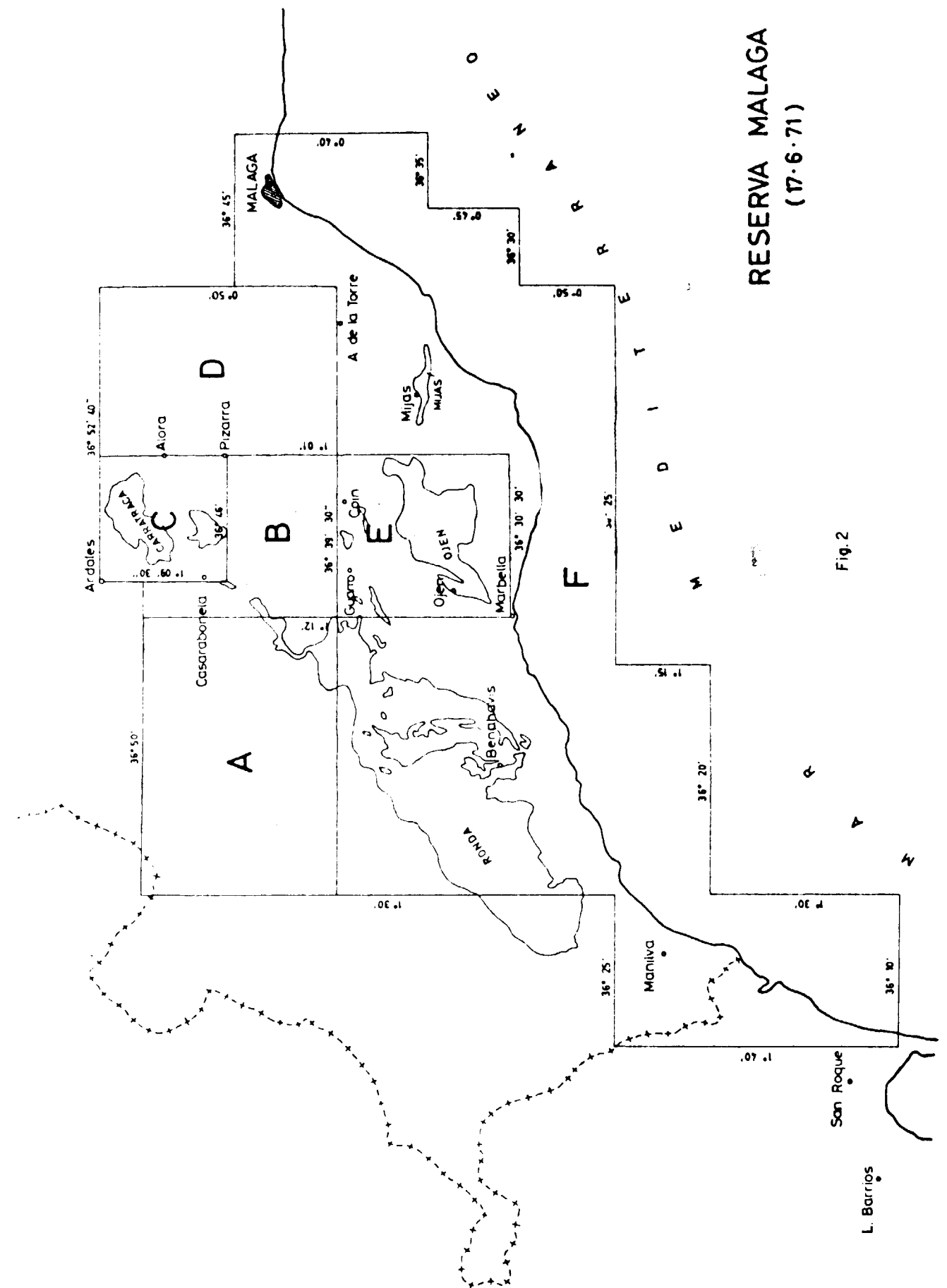


Fig. 2

gráfico de la Serranía de Ronda", publicado en 1917, y que constituye un inestimable punto de partida para las exploraciones posteriores realizadas en la provincia. Hubo una etapa de paralización de las explotaciones coincidiendo con la gran depresión económica de la década de los 20 y con los años correspondientes a la República y a la Guerra Civil Española.

Las mineralizaciones de Ojén y Carratraca estuvieron otra vez de actualidad durante las décadas cuarenta y cincuenta, cuando el Consejo Ordenador de Minerales Estratégicos de Interés Militar (COMEIM) hizo intentos de explotación; diversos informes, en gran parte aún inéditos, fueron redactados por Rosso de Luna y Febrel Molinero, en relación con el aspecto geológico y minero; Fernández Becerril realizó los correspondientes estudios de concentración de menas. Se paralizaron nuevamente los trabajos a finales de los años 50 a causa de la baja productividad de las minas en explotación.

Finalizando los años 60, el INI, en acción concertada con una asociación de compañías (española, belga y canadiense), conocida con el nombre de PLANT, realizó nuevas exploraciones en áreas próximas a las antiguas minas explotadas por el COMEIM, con resultados poco satisfactorios que determinan la paralización de las mismas.

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Comenzó los trabajos de investigación en el año 1971, continuando desde entonces de un modo intensivo.

La situación práctica al iniciarse la investigación era la siguiente:

— Geología: El trabajo de Orueta (de 1917), a pesar de ser un aporte geológico y petrográfico de trascendental importancia, aún válido, consiste en una serie de observaciones puntuales que no llegan completar ningún mapa de la zona; por otra parte, la clasificación de los términos de la serie peridotítica se establece hoy con distintos criterios.

El trabajo de Hernández Pacheco, realizado cincuenta años más tarde sobre el macizo de Ojén, tampoco tiene un fin cartográfico; su clasificación petrográfica es moderna, pero se trata de una tesis sin fines mineros.

Se dispuso últimamente del Trabajo de Mauthe, F., titulado "La geológica de la Serranía de Ronda", que es una síntesis de algunas Tesis doctorales de

la Universidad de Bochum que fue publicada en el Boletín Geológico y Minero (IGME). T. 82; este trabajo solamente cubre la cartografía de las unidades béticas, sin tratar para nada los macizos ultrabásicos.

— Minería: Orueta había descrito una serie de indicios, hoy muchos de ellos difícilmente situables, dedicando especial atención a las mineralizaciones de cromita y niquelina. Se trata de la mineralización filoniana que había sido rapiñada en tantos puntos de Carratraca, demostrándose su falta de continuidad (de hecho, no existen en el mundo acumulaciones importantes del tipo de los filones de Málaga: niquelina cementando cromita, encajada, en ocasiones, en episodios ácidos armando en las ultrabásitas).

Los trabajos del COMEIM y de INI-PLANT también se orientaron hacia este tipo de mineralizaciones de morfología filoniana, concentrándose sobre todo, en la zona de la mina La Gallega, El COMEIM se apoyó en los estudios locales de Rosso de Luna y Febrel Molinero, y efectuó una importante labor de limpieza en La Gallega, sin llegar a encontrar ninguna continuidad en la mineralización que justificara su explotación. INI-PLANT se apoyó en estudios de polarización inducida y en un par de sondeos mecánicos; sin juzgar sobre la idoneidad del método, el caso es que tampoco se obtuvieron resultados positivos.

5.2.2. Trabajos y conclusiones previos. Selección de zonas (Proyecto 1971).

Como resultado de la ejecución del Proyecto de 1971, se llegó a una serie de conclusiones y se estableció un conjunto de posibilidades, que resumimos a continuación:

I) Peridotitas s. s.: Los análisis sistemáticos de aproximadamente 1.000 muestras, demostraron una clara relación entre la distribución de los porcentajes de níquel y las bandas de la serie peridotítica. Este es un hecho de la mayor importancia ya que nos aparta de la errática distribución típica en los macizos claramente alpinos. También el estudio geológico, en el que no entraremos en detalles, hizo dudar sobre la previa atribución alpina de los macizos de Málaga.

No creemos que el níquel se encuentre solamente en la rel del olivino de las peridotitas por las razones que a continuación apuntamos.

a) Las bandas más básicas (predominio del olivino) no son las más ricas en níquel.

b) De seis de las probetas estudiadas, seleccionadas por su porcentaje en níquel (0,26 a 0,28), tres presentan pentlandita. La más rica es la menos olivínica, un gabro. Este hecho es normal según la precisa hibridación de calcio y azufre para separar pentlandita a partir del níquel del olivino, incluso después de encontrarse éste en estado sólido.

c) Los ensayos de lixiviación, de los que trataremos posteriormente, muestran que es factible la extracción de más de la mitad del níquel contenido, con ácido sulfúrico diluido y frío.

d) Los estudios con microsonda han determinado que el níquel contenido en los componentes mineralógicos no metálicos de las peridotitas, arrojan un balance (suma del porcentaje de cada mineral no metálico por su contenido en níquel), inferior al del conjunto de la muestra.

En relación con el tema del níquel en las peridotitas, dice Routhier (1963): "Se admitía hasta hace poco que la mayor parte del níquel contenido en peridotitas y serpentinas estaba ocluido reemplazando al magnesio de los silicatos. La realidad parece hoy menos simple; tomemos como ejemplo las serpentinas del Norte de Córcega. En ellas, casi la mitad del níquel está finamente distribuido, bajo forma de silicatos o de inclusiones irrecuperables en los silicatos. Pero el resto se presenta en forma de finas inclusiones de sulfuros. Estos sulfuros se encuentran en general, en finas venículas serpentinizadas y su deposición parece ligada a la fase de autohidratación."

En consecuencia, y dada la baja densidad del desmuestre inicial, se seleccionaron para una investigación profunda, las bandas más ricas de la serie peridotítica.

II) Filones: Se seleccionaron una serie de zonas en las que la conocida mineralización filoniana de niquelina cementando cromita es más abundante: La Gallega, Mina Baeza, Lentisco, Linarejos, Nebral, etc.

Además, se localizaron filones carbonatados de arseniuro de níquel (Cerro Torrón), del tipo de las explotaciones de Bou Azzer en Marruecos.

Finalmente, en una zona al noroeste del macizo de Ronda, existe pirrotina niquelífera, localizada por monteras de oxidación, dignas de estudio.

III) Zonas cupríferas: Las denuncias mineras por cobre, y los indicios secundarios de sus carbonatos, abundan en una zona centrada en el macizo de Ronda. Es universal, y podemos decir omnípre-

sente, la asociación calcopirita-pirrotina-pentlandita en los macizos ultrabásicos. Por ello es una zona de alto interés para su investigación.

IV) Níquel nativo, ferromagnetita, josefinita, etc.): Se considera mundialmente una nueva posibilidad de las serpentinas. A pesar de la baja concentración con que suele presentarse, su aptitud para el enriquecimiento magnético puede hacerlo explotable. Está ligado muy a menudo en el mundo, a una facies serpentínico-magnetítico-asbestífera, frecuente en el macizo de Ojén.

V) Menas oxidadas: La presencia de una fosa hundida en Ojén, que ha preservado de la erosión un potente horizonte de serpentinas, abre la posibilidad de enriquecimientos en relación con el horizonte de transición de peridotitas serpentinizadas a frescas. Este es el horizonte rico de Nueva Caledonia, Cuba y otros yacimientos conocidos como lateríticos, aunque, en realidad, la laterita es la mena pobre, incluso inexplorada.

Podría pensarse en la presencia de coluviones lateríticos o, en otras palabras, en menas oxidadas resedimentadas a poca distancia, sobre bordes de plataformas o antepaíses peridotíticos; acumulaciones de este tipo se explotan también en Nueva Caledonia. Se ha buscado sin éxito la existencia de tales coluviones, en especial en el borde Sur del macizo de Ojén.

5.2.3. Comprobación del interés de anteriores objetivos (Proyecto 1972).

La comprobación de las posibilidades expuestas en el punto anterior, se comenzó en 1972, centrándose la atención en el Macizo de Ojén por las siguientes razones:

— Reconocer el significado e importancia de los filones existentes en Ojén, prácticamente ausentes en Ronda.

— Comprobar las posibilidades de las serpentinitas, escasas en Ronda.

— Seguir la guía geológica de fracturas y contactos.

— Localizar menas de diques carbonatados y serpentinitas asbestíferas, también mucho más frecuentes en el macizo de Ojén.

— Necesidad de esperar los resultados de los métodos de reconocimiento indirecto de Ronda (aeromagnético y geoquímica de redes de drenaje),

para investigar las bandas ricas en níquel respecto al fondo regional.

En Carratraca se llevó a cabo su mapa metalogénico a escala 1:50.000, y en Ronda se limpió parcialmente un afloramiento importante de cromita níquelífera (Arroyo de la Cala), pendiente de ser comprobado con sondeos mecánicos.

Resumimos a continuación los resultados, siguiendo las líneas y planteamiento de exploración señalados hasta ahora.

Como consecuencia del estudio geológico de más detalle del Macizo de Ojén, se localizó una facies limonítica de profunda meteorización, en una zona de borde favorable, que fue objeto de 4 sondeos mecánicos. Desafortunadamente, los resultados no fueron positivos.

Tampoco se ha tenido éxito en la búsqueda de níquel nativo. Se han hecho probetas de serpentinitas asbestíferas sin encontrar ferroníquel. Se visitaron las minas de Balanguero en Italia, en las que se prevé la explotación de este mineral. Después de conocido su marco geológico, e intercambiado ideas con especialistas del Politécnico de Turín, llegamos a la conclusión que estas minas no se corresponden con los indicios de Ojén.

De los filones o antiguas labores en los que se han hecho trabajos de limpieza, dos de ellos, Arroyo de la Cala en Ronda y El Nebral en Ojén, tienen importancia suficiente para justificar su reconocimiento por sondeos mecánicos. Los demás, aunque carecen de importancia en sí, han servido de guía, junto con su posición geológica favorable, para establecer una serie de redes de geoquímica que han puesto en evidencia su verdadero significado: bonanzas de importancia en zonas con un fondo geoquímico desusadamente alto.

La distribución de níquel en las serpentinas en zonas de filones próximas al contacto o a bordes de grandes fallas, muestra un fondo de 0,29 por 100 de Ni (comparar con el 0,20 por 100 de las peridotitas de Ojén). En algunas redes, el valor más frecuente llega al 0,40 por 100 y existen "anomalías" con valores de hasta 0,9 por 100. Más que de anomalías en el sentido geoquímico estricto, cabe hablar de una diseminación en masa, que, como hemos venido diciendo, se sitúa en la Fosa de Ojén, preferentemente en las zonas más falladas o de borde. Las rozas hechas en la Fosa, fuera de estos puntos geológicamente particulares, no han dado leyes de níquel comparable.

El valor de este hallazgo es importante. Su importancia radica en el hecho de que ninguna de las redes de geoquímica realizadas ha delimitado las zonas de enriquecimiento, por lo que en el caso de que los enriquecimientos se prolonguen, tanto en superficie como en profundidad (incógnitas que quedarán despejadas con la ampliación de las redes a mayores superficies y perforación por sondeos mecánicos en estas áreas), podremos empezar a pensar, de confirmarse los resultados de lixiviación de los que luego trataremos (5.2.4.2.), si estaremos en presencia de una mena que, dada su abundancia, constituiría un yacimiento a pesar de su ley baja, ya que, como información alentadora, sabemos que en Vuonos (Finlandia) se está beneficiando menas con el 0,20 por 100 de níquel en forma de sulfuros.

5.2.4. Estado actual de la explotación (Proyecto 1793).

5.2.4.1. Somera descripción de los trabajos de prospección propiamente dichos.

En el año en curso se concluyó la perforación de la facies limonítica en el Macizo de Ojén, ya citada anteriormente, cuyos resultados han resultado negativos.

También en el Macizo de Ojén, en la zona de Montenegro, se sondeó otra facies conocida con el nombre de serpentinita descompuesta, que pasa transicionalmente a serpentinita compacta y posteriormente a peridotita (puede asimilarse su formación a la de una laterita, aunque no se trate rigurosamente del mismo tipo de suelo), estando en estos momentos pendientes de los resultados de los análisis químicos.

En el Macizo de Ojén, igualmente, y en las ya mencionadas zonas de alto fondo geoquímico en níquel, se ha iniciado la perforación por sondeos mecánicos.

Siempre en el mismo Macizo de Ojén, se sigue el programa general en sus distintas fases: nuevas redes de geoquímica y ampliación de las anteriores, continuación de la cartografía geológica-minera de áreas de interés, y limpieza de indicios mineros.

En el Macizo de Ronda se está terminando una campaña de prospección geoquímica en las redes de drenaje, habiéndose tomado ya más de 2.000 muestras. En la parte central de este plutón de Ronda se está llevando a cabo una geología de mu-

cho detalle en las bandas de mayor concentración de níquel.

Se han realizado dos prospecciones aeromagnéticas, una sobre el Macizo de Ronda y otra sobre el de Ojén, complemento esta última de la que se efectuó en 1969.

5.2.4.2. Ensayos de posibilidades de extracción del níquel por procesos hidrometalúrgicos.

Estimamos que la única posibilidad de beneficiar las serpentinitas de Málaga es mediante un proceso hidrometalúrgico del mismo de los que se aplican a otras menas, más o menos oxidadas, más o menos pobres, del mundo. Estos procesos siguen, generalizando, dos vías distintas: lixiviación amoniacal bajo presión (Sherritt Gordon, para menas de Nicaro), y lixiviación con sulfúrico (Freeport Sulphur, para menas de la Bahía de Moa).

En principio, dadas nuestras posibilidades de producción de ácido sulfúrico y el buen precio de este producto en el mercado español, comparado con el de otros países, nos inclinamos por la vía ácida, alentados, además, por el resultado comparativo de dos procesos analíticos:

Por el primero, se tratan las muestras con agua regia, ácido perclórico y ácido fluorhídrico, para asegurar el completo ataque de las mismas, tanto si el níquel se encuentra en forma de silicatos como si está en cualquiera otra forma mineral.

Por el segundo proceso, solamente se hace el ataque con agua regia, siguiendo, una vez atacado, la misma vía analítica que en el proceso anterior.

Pues bien, al comparar los resultados obtenidos en ambos procesos, se observó que la extracción conseguida por el segundo superaba siempre el 90 por 100 de los valores que daba el primero; lo que, en definitiva, supone que, al menos en las muestras analizadas, el níquel se encuentra formando parte de la red silicatada en una proporción inferior al 10 por 100. En caso contrario, no hubiese sido extraída más que por destrucción de dichos silicatos mediante la acción del ácido fluorhídrico.

En esta idea, se intentó una lixiviación con ácido sulfúrico al 15 por 100 v/v, inyectando, durante diez, veinte y sesenta minutos, una corriente de aire frío con flujo aproximado de 1 litro/minuto. Las extracciones más completas (siempre superiores al 80 por 100) se lograron en el tercer caso, es decir, con sesenta minutos de inyección.

Puesto que estos ensayos se habían efectuado sobre muestras de suelos, y cabía pensar que la meteorización podía haber liberado níquel por la hidrolización de los silicatos (olivino especialmente), se decidió realizar nuevas pruebas con muestras profundas de peridotitas y serpentinitas obtenidas por sondeo mecánico.

Por su interés, resumimos los resultados alcanzados bajo diferentes condicionantes, de las muestras que es citan:

a) Muestras:

Saco núm. 6 MBOH muestras A-1, D-1, C-2, L-1, Serpentinatas.

Saco núm. 7 MBRH muestras 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, Peridotitas.

Saco núm. 8 MBOH muestras A-2, B-1, B-2, C-1, D-2, Serpentinatas.

Molido de todas estas muestras hasta pasar por el tamiz de 0,06 mm. de luz.

b) Análisis:

Análisis químico con fluorhídrico y determinación por EAA de todas las muestras, con los resultados que indica la tabla:

Saco núm. 6		Saco núm. 7		Saco núm. 8	
Muestra	Ni	Muestra	Ni	Muestra	Ni
Núm.	ppm	Núm.	ppm	Núm.	ppm
A-1	2400	1	1950	A-1	3000
D-1	2625	2	2230	B-1	2625
C-2	2650	3	2100	B-2	2630
L-1	2685	5	2080	C-1	2965
		6	2250	D-2	2600
		7	2100		
		9	2110		
		10	2200		

c) Ensayos de la influencia de la concentración de ácidos.

Una vez analizadas las muestras, se realizaron ensayos de extracción con ácido sulfúrico a diferentes concentraciones, para determinar la concentración de extracción óptima, cuyos resultados se muestran en la tabla siguiente, en relación con los realizados sobre la muestra núm. 3 del saco núm. 7.

Ensayo	Ni ppm	% extrac.
Análisis quím.	2100	—
SO ₄ H ₂ 5 por 100 v/v	958	45
SO ₄ H ₂ 10 por 100 v/v	1237	59
SO ₄ H ₂ 15 por 100 v/v	1931	92
SO ₄ H ₂ 20 por 100 v/v	1515	72
SO ₄ H ₂ 25 por 100 v/v	1491	71

Los ensayos se realizaron siempre sobre muestras de 10 gr. y 200 cc. de disolución. En todos los casos, el tiempo de paso de aire caliente fue de veinte minutos, y la velocidad de flujo, de 1 litro/minuto; el tiempo de reposo fue de veinticuatro horas.

d) *Ensayos de la influencia del tiempo de oxidación.*

Para estudiar la influencia del tiempo de oxidación, se realizaron dos variantes; una, manteniendo el tiempo de decantación en tres horas; otra, en veinticuatro horas. Los resultados, que se indican en la siguiente tabla, se refieren a tres muestras: la D-1, del saco núm. 6, la núm. 6, del saco núm. 7, y la B-1, del saco núm. 8, siempre con 200 ml de disolución de ácido sulfúrico al 15 por 100 v/v.

Ensayo	Saco núm. 6	
	Muestra D-1 Ni ppm	% extr.
Anál. quím.	2625	—
20 min. 3 h.	1027	39
60 min. 3 h.	1123	43
20 min. 24 h.	1827	70
60 min. 24 h.	1830	70

Ensayo	Saco núm. 7	
	Muestra núm. 6 Ni ppm	% extr.
Anál. quím.	2250	—
20 min. 3 h.	876	39
60 min. 3 h.	890	39
20 min. 24 h.	1123	50
60 min. 24 h.	1123	50

Ensayo	Saco núm. 8	
	Muestra B-1 Ni ppm	% extr.
Anál. quím.	2625	—
20 min. 3 h.	1930	73
60 min. 3 h.	1965	75
20 min. 24 h.	2394	91
60 min. 24 h.	2395	91

Se intentó un aumento de la oxidación sobre la muestra B-1, del saco número 8, por adición de agua oxigenada a la disolución, pero los resultados obtenidos no fueron superiores a los obtenidos solamente con ácido sulfúrico al 15 por 100 y veinticuatro horas de decantación.

e) *Discusión de los resultados hidrometalúrgicos.*

— Las muestras estudiadas han sido serpentinitas (indicativo MBO) y peridotitas (indicativo MBR).

— La concentración de ácido alcanza un punto óptimo de lixiviación, que es el 15 por 100 v/v. Es muy posible que la correspondiente inflexión se deba a malas condiciones de experimentación, como agitación defectuosa o cualquiera otra, que podría dar lugar a que, en un momento dado, por aumento de la viscosidad de la disolución, las velocidades de líquido y sólido (disolución y soluto) sean iguales y que, por lo tanto, baje el rendimiento de lixiviación; esto no podría ocurrir en una columna apropiada en contracorriente.

— El tiempo de reposo, después de la oxidación, influye en la lixiviación; pero, igual que en el caso anterior, este factor se podría suprimir empleando unas condiciones ambientales adecuadas.

— Las serpentinas se lixivian con mayor facilidad que las peridotitas.

— En algunas muestras, tanto serpentinitas como peridotitas, el tiempo de reposo no influye en la lixiviación; lo que permite sospechar que se trata de menas muy oxidadas, que facilitan la lixiviación. Por otra parte, la diferencia de metal extraído, en algunas de ellas, es muy grande en ambos casos; lo que podría indicar que el níquel se encuentra más bien en forma de sulfuro, en gran parte.

Los ensayos expuestos son solamente un primer paso llevado a cabo de un modo muy elemental, sin controlar factores tan importantes como el consumo de ácido, influencia de distintos grados de molienda, diversas presiones y temperaturas, etc. Demuestran, solamente, que estamos, con gran probabilidad, ante un enriquecimiento oxidado, que la hidrometalurgia debe ser tenida en cuenta y que deben emplearse más medios para dilucidar la posibilidad de establecer un método de extracción económico por esta vía.

De hecho se han comenzado estudios paralelos sobre grandes muestras (del orden de 200 kg., previamente molidas y homogeneizadas) en los laboratorios de la Junta de Energía Nuclear, en los la-

boratorios de la Griffith-Iturribarría, S. A., que, por encargo del I.G.M.E. está montando una columna pulsante de lixiviación en lecho fluido, y en los propios laboratorios del I.G.M.E.

5.2.5. *Trabajos por realizar.*

Para no extendernos más en nuestra exposición fijaremos solamente las directrices de los trabajos pendientes de realizar.

I) En el macizo de Ojén:

— Terminar las redes de geoquímica de suelos y los levantamientos cartográficos geológico-mineros correspondientes. Este trabajo se encuentra muy adelantado.

— Si los sondeos sobre las zonas con alto fondo de níquel son positivos:

- Estrechar su malla en las zonas anómalas conocidas.
- Llevar a cabo una macrored de geoquímica sobre las partes geológicamente más interesantes de la Fosa de Ojén.
- Sobre las eventuales zonas ricas de la macrored establecer una malla muy amplia de sondeos.

— Reconocer en profundidad con sondeos los dos filones que presentan mayor interés en superficie.

II) En el macizo de Ronda:

— Interpretar la geoquímica de redes de drenaje.

— Interpretar el vuelo aeromagnético.

— Sobre las zonas que coincidan: bandas con mayor contenido en níquel, anomalías positivas geoquímicas y zonas de interés del aeromagnético, llevar a cabo una cartografía geológica y desmuestra de detalle.

— Reconocer el filón del Arroyo de la Cala.

— Reconocer las zonas cupríferas, las monteras con pirrotina y níquel y otros indicios de menor importancia.

— Reconocer las serpentinas de este macizo.

— Atención a las terrazas y sedimentos jóvenes, en conjunto desde el punto de vista de níquel y platinoides.

III) Macizos de Carratraca y Mijas:

— Eventualmente alguna red de geoquímica sobre algún indicio de mayor interés. No parecen ser

zonas de grandes posibilidades aunque realmente se conoce poco sobre ellas para detallar su explotación.

IV) Hidrometalurgia:

— Continuar los ensayos de la Junta de Energía Nuclear, el Instituto Geológico y de otras entidades con experiencia en este proceso.

Consideramos clave este punto para desentrañar las posibilidades níquelíferas de la Reserva de Málaga.

Es prematuro un programa detallado de ensayos considerando la variada gama de posibilidades que presenta este proceso.

Como dijimos anteriormente, son dos los caminos a ensayar: ácido y alcalino. Dentro de cada uno es fundamental la preparación previa de las menas. Cada proceso juega con una extensa variedad de parámetros. Finalmente, demostrada la viabilidad técnica hará falta probar la económica. Pero, insistimos, los resultados iniciales han sido lo suficientemente alentadores y la masa serpentinizada lo bastante grande para investigar, tenazmente, la posibilidad que se abre ante nosotros.

5.2.6. *Estadística de trabajos realizados.*

Año 1971:

Geología: Cartografía 1:50.000 de 600 km² (macizos de Ronda, Ojén y Carratraca) (síntesis previa a escala 1:50.000 del entorno Bético de los mismos, y ejecución de fotografía aérea en color, a escala 1:25.000, de 54.600 ha.).

Petrografía: Estudio completo de 40 muestras de peridotitas (en colaboración con el Departamento de Petrografía y Geoquímica de la Sección de Geología, de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Complutense). Clasificación sistemática, conteo de 800 muestras.

Laboratorios: Análisis por níquel de 800 muestras de peridotitas. Análisis por níquel y otros elementos de 50 indicios. Seis probetas pulidas.

Minería: Catastro minero, situar 700 puntos de partida de denuncias de todas las minas, de cualquier sustancia, de los últimos años.

Mapas metalogenéticos a escala 1:50.000 de Ronda y Ojén. 53 indicios de mineralización situados, descritos y desmuestreados.

Geoquímica: Campaña experimental de redes de drenaje en el macizo de Ojén: 120 muestras.

Mineralometría: Campaña experimental del macizo de Ojén, 50 bateas.

Campaña estratégica en los tres macizos: 650 bateas.

Año 1972.

Geología: Cartografía de 70 km² del macizo de Ojén a escala 1:25.000. Mapa geológico minero a escala 1:2.000 de ocho zonas con indicios de filones de niquelina: 240 ha. cartografiadas.

Minería: Situar, describir y demostrar 15 nuevos indicios. Mapa metalogénico a escala 1:50.000 de Carratraca. Rozas para desmuestre de serpentinitas: 62. Calicatas para limpieza de indicios: 8. Limpieza de labores abandonadas: 5. Sondeos: 9=623 m.

Laboratorios: Probetas pulidas: 37. Análisis de indicios: por níquel, 22; por níquel y otros, 33. Análisis cualitativos: 60.

Hidrometalurgia: Ensayos previos de extracción con SO₂H₂ al 15 por 100 en frío sobre 10 muestras de serpentinitas y 9 de peridotitas.

Geoquímica: Redes de geoquímica de suelos, seis redes, 3.200 muestras.

Año 1973 (hasta fin de septiembre).

Cartografía geológico minera en cinco zonas: 840 Ha. Redes de geoquímica, cuatro dispositivos: 1.500 muestras.

Labores mineras: Limpieza de filones: (2). Sondeos 13=970 m.

Magnetometría de flujo: Tres zonas, 1.200 estaciones.

Geoquímica de redes de drenaje: (Ronda): 2.100 muestras.

Ensayos preliminares de lixiviación: Sobre 20 nuevas muestras.

6. AGRADECIMIENTO

Como Director del Proyecto por parte del Instituto Geológico y Minero de España, desde diciembre de 1972 (dirección que recibimos del competente y gran amigo y compañero Vicente Pastor Gómez), agradecemos, en nombre de este Instituto, la colaboración de las personas que se citan, cuya capacidad, celo y entusiasta dedicación, han hecho posible el grado de conocimiento que hoy poseemos sobre las ultrabásitas de Málaga.

El estudio comparado de macizos ultrabásicos niquelíferos, que ha servido de base para sistematizar la exploración así como la coordinación de técnicas de prospección ha corrido a cargo de Angel Rodríguez Paradinas.

Los trabajos geológicos han sido llevados a cabo por Vicente Crespo Lara y José María Reyes García, con su equipo auxiliar.

Los estudios de Petrografía han sido efectuados por el competente equipo del Prof. Dr. Fúster Casas (Jefe del Departamento de Petrología y Geoquímica de la Universidad Complutense), y por el Dr. Aguilar Tomás.

La campaña experimental de Mineralometría y Geoquímica fue realizada por el equipo de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras (ENADIMSA), bajo la dirección de J. Enrique Azcárate Martín.

El I.G.M.E. agradece igualmente las autorizaciones y facilidades dadas amablemente por la Sección de Minas de la Delegación de Málaga del Ministerio de Industria (en particular su Ingeniero Jefe, don Rafael Campos Moreno), por ICONA y por la Unión Resinera Española.

Recibido: Octubre 1973.

Análisis de los mecanismos físico-químicos que condicionan la modificación de las rocas de la corteza terrestre por la acción de las aguas meteóricas

Por A. ERASO ROMERO (*)

RESUMEN

En el presente trabajo se propone un método físico-químico, teórico-práctico muy general para estudiar depósito de precipitación química, rellenos de Karst, o de manera más general para seguir el ciclo geoquímico de determinado elemento en la corteza terrestre.

Se basa tanto en las condiciones impuestas por el medio (E, pH), es decir, potencial red-ox y grado de acidez, como de las características de los compuestos en cuestión (K, Ps), constante de equilibrios químicos y producto de solubilidad, resultando una función que tiene la forma:

$$f(\text{pH}, E, \text{Ps}, K)=0$$

cuya solución para cada caso concreto nos aclara el problema, y que sirve, al mismo tiempo, para predecir determinados comportamientos, asociaciones o incompatibilidades en yacimientos exógenos, etc.

Se resuelven algunos casos concretos para ilustrar el método.

RESUME

Dans le présent travail est proposé un méthode physique-chimique, théorique-pratique très général pour étudier les dépôts des précipitations chimiques, des formes pleines du Karst, ou d'une manière plus générale pour suivre le cycle géochimique d'un élément déterminé dans la croûte de la terre.

Il se base non seulement sur les conditions imposées par le moyen (E, pH), c'est à dire le potentiel red-ox et le degré d'acidité, mais aussi sur les caractéristiques des composés en question (K, Ps), la constante d'équilibres chimiques et le produit de solubilité, résultant une fonction de la forme suivante:

$$f(\text{pH}, E, \text{Ps}, K)=0$$

dont la solution pour chaque cas concret nous explique le problème et en même temps sert à prédire des comportements déterminés, associations ou incompatibilités dans gisements exogènes, etc.

Pour illustrer le méthode, quelques cas concrets ont été résolus.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Studie befasst sich mit einer sehr allgemeinen physisch-chemischen, theoretisch-praktischen Methode zur Pruefung von Ablagerungen durch chemischen Niederschlag, Karst-Fuellformen, oder in allgemeiner Art zur Verfolgung des geochemischen Zyklus bestimmter Elemente in der Erdkruste.

Diese Methode basiert nicht nur auf den von der Umgebung auferlegten Bedingungen (E, pH), d.h. red-ox Potential und Saeuregrad, sondern auch auf den Eigenschaften der betreffenden Verbindungen (K, Ps), Konstante des chemischen Gleichgewichts und Loeslichkeitsprodukt, aus denen sich folgende Formel ergibt:

$$f(\text{pH}, E, \text{Ps}, K)=0$$

(*) Presidente de la Comisión Internacional para el estudio de los procesos físico-químicos en el Karst. U.I.S.

deren Loesung fuer jeden einzelnen Fall das Problem erlaeutert und gleichzeitig dazu dient, bestimmte Verhalten, Assozierungen oder Unvertraeglichkeiten in exogenen Vorkommen vorausbestimmen zu koennen.

Zur Illustrierung der Methode werden einige konkre-ten Faelle geloest.

SUMMARY

The present essay proposes a very general physical-chemical, theoretical-practical method to study deposits of chemical precipitation, filled Karst forms, or in a more general manner to follow the geochemical cycle of a determinate element in the earth's crust.

It is based as well in the imposed conditions of the medium (E, pH), that means red-ox potential and degree of acidity, as the characteristics of the compounds in question (K, Ps), the constant of chemical equilibrium and product of solubility, resulting in a function of the following form:

$$f(\text{pH}, E, \text{Ps}, K)=0$$

whose solution for every case explains the problem and serves at the same time to predict determinate behaviours, associations or incompatibilities in exogene deposit, etc.

In order to illustrate the method some real cases are resolved.

1. INTRODUCCIÓN.

Para comprender bien los mecanismos físico-químicos que condicionan la acción de las aguas meteóricas sobre las rocas de la corteza terrestre, responsables de las interesantes alteraciones que constituyen gran parte de los yacimientos exógenos, así como algunos rellenos especiales en el Karst, necesitamos profundizar en las siguientes cuestiones básicas:

a) Los equilibrios químicos en medio acuoso, especialmente los que nos produzcan cambios de electrones, protones, iones o moléculas polares (es decir, sus diversos tipos de reacciones; red-ox, ácido-base o complejos respectivamente), que pueden ocurrir tanto de una manera aislada como combinada, y en los que sus productos de alteración, en el caso de ser poco solubles, nos obligarán a considerar el fenómeno de la precipitación y sus particulares influencias sobre los equilibrios iniciales (v. gr.: hidrólisis, dismutación, etc.), constituyendo a la postre el escenario variopinto que pretendemos analizar.

b) La naturaleza del agua meteórica, sobre la que no debemos olvidar que no se trata de una especie química pura, puesto que puede cargarse por disolución de su seno de los gases existentes en la atmósfera, de los microorganismos de la biosfera, etcétera, resultando que dispondrá de determinados gradientes de índole físico-químico, que tendrá a compensar en el momento de su incidencia sobre las rocas de la corteza.

c) Las características petrológicas de la roca, composición mineralógica, textura, etc., que debe-

remos tener siempre presente, puesto que representan los materiales susceptibles de modificarse.

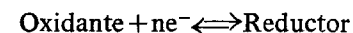
En definitiva se trata de estudiar el enfrentamiento entre las rocas de la corteza terrestre, c), y el agua meteórica, b), siendo el objeto perseguido el analizar los diferentes mecanismos interdependientes, a), responsables de su interacción.

Estudiaremos, pues, las condiciones susceptibles de producir acumulaciones exógenas, sean rentables o no.

2. MECANISMOS FUNDAMENTALES.

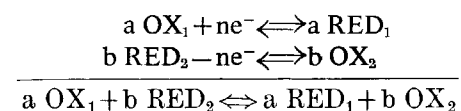
A) De cambio de electrones.

Los oxidantes son cuerpos capaces de fijar electrones, mientras que los reductores son capaces de cederlos; la relación que define el equilibrio cuantitativo ante oxidantes y reductores sería:



y definiría un par red-ox.

Sin embargo, como los electrones no existen en estado libre en solución, para que un oxidante pueda fijar electrones, se precisa de la presencia de un reductor que sea a su vez capaz de perderlos. Por consiguiente, en la práctica se precisa de la actuación de dos sistemas red-ox para producir una reacción, v. gr.:



Cuantitativamente, un oxidante es tanto más fuerte cuanto más fácilmente fija los electrones, y su correspondiente reductor del par red-ox los cede tanto menos fácilmente; dicho de otra forma, cuanto más fácil de reducir es el oxidante, más difícil de oxidar es el reductor, dentro del par red-ox considerado.

Para clasificar el poder de determinado par, basta utilizar la ecuación de NERST, que nos define el potencial red-ox, permitiéndonos conocer en forma precisa las fuerzas de oxidación y reducción de los diferentes sistemas.

Su expresión es:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{|\text{Oxidante}|}{|\text{Reductor}|}$$

siendo el potencial E el que gobierna el cambio de electrones; E₀ es una constante que se tabula a igualdad de actividades del oxidante y del reductor; R, la constante de los gases perfectos; T, la temperatura absoluta; F, el número de FARADAY; n, el número de electrones que se intercambian y |OXIDANTE| y |REDUCTOR| las actividades correspondientes en solución.

La deducción de la ecuación de NERST es muy sencilla, por consideraciones termodinámicas, partiendo de la ley de acción de masas.

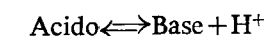
Su forma en logaritmos decimales es, en definitiva:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \log \frac{|\text{OX}|}{|\text{RED}|}$$

en la que el valor de la constante R lleva implícito el factor de cambio de base logarítmica, y será la que utilizaremos en nuestros cálculos.

B) De cambio de protones.

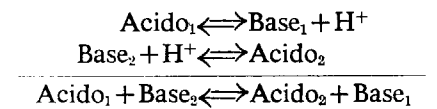
Los ácidos son cuerpos con capacidad para perder protones, mientras que las bases son capaces de fijarlos; su relación cuantitativa viene definida por el siguiente equilibrio:



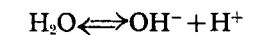
que constituye un par ácido-base.

De todas maneras, como los protones no existen prácticamente en estado libre, para que un ácido pueda perder protones, hace falta a su vez la presencia de una base capaz de captarlos; pre-

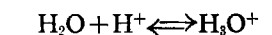
cisándose en la práctica de la presencia de dos sistemas ácido-base para que exista reacción; v. gr.:



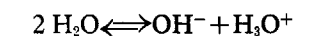
El agua puede desempeñar tanto el papel de ácido:



como el de una base:



resultando de la suma de ambos equilibrios:



de manera que si aplicamos la ley de acción de masas encontraremos:

$$K = \frac{|\text{OH}^-| \cdot |\text{H}_3\text{O}^+|}{|\text{H}_2\text{O}|^2}$$

en la que K es constante para una temperatura dada. Si ahora tenemos en cuenta que la parte disociada del agua es extraordinariamente pequeña frente a la que aparece sin disociar, podemos escribir:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = |\text{OH}^-| \cdot |\text{H}_3\text{O}^+|$$

siendo dicha constante

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = 10^{-14} \text{ mol/lit. a } 25^\circ \text{ C}$$

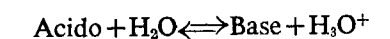
esto nos da la posibilidad cuantitativa de medir la actividad de los iones H₃O⁺ mediante la introducción del concepto de pH de Broensted que fundamentado en que el número de iones disociados de distinta polaridad es igual:

$$|\text{H}_3\text{O}^+| = |\text{OH}^-| = 10^{-7}$$

deduce

$$\text{pH} = -\log |\text{H}_3\text{O}^+|$$

resultando para la neutralidad pH=7 para la acidez por disolución de un ácido en agua:

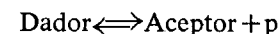


un pH<7,

ocurriendo lo contrario para un medio alcalino, pH>7.

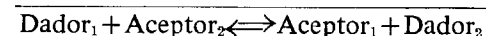
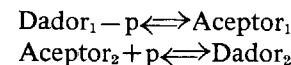
C) De cambio de iones y de moléculas polares.

Un complejo puede ceder una partícula, es un dador de la misma y en consecuencia tendremos:



llamando p a la partícula considerada.

Como dichas partículas, generalmente cargadas, no existen en estado libre, resulta que para que un dador ceda una partícula, se precisa a su vez la presencia de un aceptor capaz de recibirla:



En el caso que nos ocupa, el agua desempeña el papel de aceptor frente a todas las partículas, en virtud del fenómeno de la solvatación.

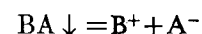
La fuerza de los dadores y de los aceptores nos vendría dada cuantitativamente por el valor de la constante de la ley de acción de masas, del equilibrio correspondiente, de manera que cuanto mayor sea K, mayor será la fuerza del dador. O bien, por analogía con el concepto de pH, cuanto menor sea el pK correspondiente, más fuerte será el dador.

Es, por tanto, el pK quien nos va a proporcionar la medida de la fuerza de los pares dador-aceptor, siendo por ende la estabilidad de los complejos, tanto menor cuanto más fuerte sea el dador.

En definitiva, a mayor pK, más estable es el complejo considerado.

D) De solubilidad de compuesto poco solubles.

Cuando se produce un enfrentamiento entre iones capaces de dar un compuesto poco soluble, se produce un precipitado. Si consideramos el precipitado BA ↓ recién formado en medio acuoso, resulta que existe en solución un pequeño número de iones B⁺ y A⁻ en equilibrio con los del sólido, es decir:



y aplicando la ley de acción de masas

$$\frac{|\text{B}^+| \cdot |\text{A}^-|}{|\text{BA}|} = K$$

pero mientras exista sólido, la actividad de la fase sólida es constante, quedando:

$$|\text{B}^+| \cdot |\text{A}^-| = P_{\text{SAB}}$$

siendo P_{SAB} el producto de solubilidad de la sustancia. BA, que es constante a una temperatura dada, y su valor nos determinará cuantitativamente el grado de insolubilidad del producto considerado, que será tanto mayor cuanto menor sea P_s o cuanto mayor sea pP_s.

En la realidad el fenómeno de la precipitación se halla íntimamente ligado a los mecanismos anteriores, definidos respectivamente por el potencial red-ox E, el pH, o pK.

Veamos, a guisa de ejemplo, un caso muy general al que tendremos que recurrir más adelante. Se trata de la solubilidad de los hidróxidos poco solubles en función del pH.

Supongamos un hidróxido poco soluble, MOH, tiene dos productos de solubilidad que corresponden, respectivamente, al anión y al catión:

$$|\text{MO}^-| \cdot |\text{H}^+| = P_{\text{SA}}$$

de donde

$$|\text{MO}^-| = \frac{P_{\text{SA}}}{|\text{H}^+|}$$

y

$$|\text{M}^+| \cdot |\text{OH}^-| = P_{\text{SO}}$$

de donde

$$|\text{M}^+| = \frac{P_{\text{SO}}}{|\text{OH}^-|} = \frac{P_{\text{SO}}}{K_{\text{H}_2\text{O}}} |\text{H}^+|$$

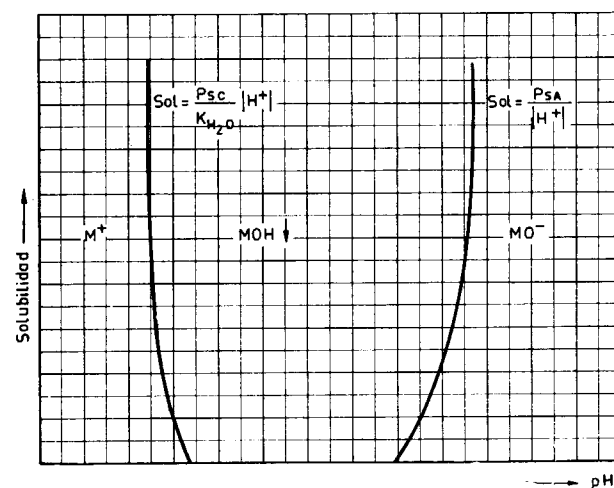


Figura 2-1

Solubilidad de los hidróxidos pocos solubles en función del pH

$$\text{Sol} = \frac{P_{\text{SO}}}{K_{\text{H}_2\text{O}}} |\text{H}^+| + \frac{P_{\text{SA}}}{|\text{H}^+|}$$

la solubilidad del hidróxido viene dada por

$$\text{Sol.} = |\text{M}^+| + |\text{MO}^-|$$

de donde cuando la solución sea saturada:

$$\text{Sol} = \frac{P_{\text{SO}}}{K_{\text{H}_2\text{O}}} |\text{H}^+| + \frac{P_{\text{SA}}}{|\text{H}^+|}$$

es decir, que dicha solubilidad varía en función del pH, viniendo la forma general de dicha función desarrollada en la figura 2-1.

En la realidad deberemos considerar con carácter simultáneo todos los mecanismos descritos, a la hora de definir la acción del agua meteórica sobre las rocas de la corteza, de manera que tendremos que resolver una función compleja que bajo el punto de vista químico presentaría la forma general:

$$f(E, \text{pH}, \text{pK}, P_s) = 0$$

de la que en cada caso particular, podríamos eliminar las variables interdependientes:

E, cuando no interviniesen iones polivalentes.

pH, en el caso de no existir reacciones ácido-base.

pK, cuando no existe la posibilidad de formación de iones complejos.

P_s, cuando no se formasen subproductos insolubles como resultados de las reacciones que intervengan.

3. BASES TERMODINÁMICAS SOBRE EL EQUILIBRIO.

Si consideramos que los parámetros cuantitativos que acabamos de definir en los diferentes mecanismos básicos que utilizaremos, son constantes para condiciones dadas, es decir, que varían en función de las funciones termodinámicas de estado, nos enfrentamos de golpe con que la realidad es extraordinariamente compleja.

Afortunadamente mediante la aplicación de la termodinámica con sus tratamientos clásicos, podemos no solamente deducir las fórmulas generales en cada caso sobre el equilibrio, sino predecir el comportamiento del mismo en virtud de la in-

teracción de los gradientes o potenciales químicos que participen en él, de manera que mediante las oportunas acotaciones a dichas fórmulas generales, resolvamos cada caso concreto que pretendamos estudiar.

En nuestro caso concreto, precisaremos en primer lugar de la regla de las fases, y después de la condición de equilibrio para el ambiente exógeno.

Dicha regla de las fases debida a Gibbs, nos permite conocer el grado de varianza o de libertad del equilibrio en cuestión, o expresado en otras palabras, el número de variables termodinámicas que hemos de fijar para determinarlo. Se expresa así:

$$l = n - f + 2$$

siendo: l, los grados de libertad del sistema n, el número de componentes; y f, el número de fases que intervienen.

Las condiciones que la termodinámica establece para la existencia de equilibrio en un sistema dado, son fundamentalmente tres:

a) Cuando el sistema está térmicamente aislado, se alcanza el equilibrio cuando la entropía S es máxima.

$$dS \geq 0$$

b) Cuando el sistema se mantiene a temperatura y volumen constantes, se alcanza el equilibrio cuando su energía libre F es mínima.

$$dF \leq 0$$

c) Cuando el sistema se mantiene a presión y temperatura constantes, se alcanzan el equilibrio cuando su entalpía libre G es mínima.

$$dG \leq 0$$

Es evidente que en ambiente exógeno, el caso más frecuente es el último, por lo que la condición de entalpía libre mínima será nuestro punto de partida.

Para estudiar un equilibrio dado, el procedimiento consiste en suponer que se modifican infinitamente poco las condiciones exteriores de manera que tanto sus estados iniciales como finales constituyan estados de equilibrio.

Así, para cualquier transformación virtual isotérmica e isobárica, en el estado inicial se tiene:

$$\delta G = 0$$

Al pasar el nuevo estado de equilibrio, las variables T, P y $m_j^{(i)}$ (temperatura, presión y masas de un componente cualquiera en la fase i), experimentan cambios reales no virtuales, de manera que la entalpía libre se convierte en:

$$G + dG = G + \frac{\partial G}{\partial T} dT + \frac{\partial G}{\partial p} dp + \sum_{ij} \frac{\partial G_j^{(i)}}{\partial m_j^{(i)}} dm_j^{(i)}$$

con lo cual la nueva condición de equilibrio será:

$$\delta \left[\frac{\partial G}{\partial T} \right] dT + \delta \left[\frac{\partial G}{\partial p} \right] dp + \sum_{ij} \delta \left[\frac{\partial G_j^{(i)}}{\partial m_j^{(i)}} \right] dm_j^{(i)} = 0$$

pero resulta que:

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -S; \quad \frac{\partial G}{\partial p} = V \quad \text{y} \quad \frac{\partial G_j^{(i)}}{\partial m_j^{(i)}} = \mu_j^{(i)}$$

(siendo V el volumen y $\mu_j^{(i)}$ el potencial químico de cada componente j en la fase i).

Y como en toda transformación reversible e isoterma se cumple que:

$$\delta S = \frac{\delta Q}{T}$$

(siendo Q el calor requerido por el sistema en dicha transformación), queda finalmente reemplazado estos valores:

$$-\frac{\delta Q}{T} dT + \delta V dp + \sum \delta \mu_j^{(i)} dm_j^{(i)} = 0$$

expresión que es la ecuación general de corrimiento del equilibrio en condiciones isotermas e isobaras. En ella dT, dp y $dm_j^{(i)}$ son los cambios que realmente sufren las magnitudes en cuestión al correrse el equilibrio, mientras que δQ , δV y $\delta \mu_j^{(i)}$ se refieren a una transformación virtual, isoterma e isobara, que pueden ser finita.

Dicha ecuación general, al aplicarla a cada caso concreto, tomará su particular forma específica de la que deduciremos la particular forma de la función. Más adelante la aplicaremos en algún caso concreto para evidenciar la metodología a seguir.

4. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA METEÓRICA.

Cuando el agua meteórica, v. gr., procedente de la lluvia incide sobre la superficie terrestre, para entonces, ya ha sufrido importantes transformaciones pues, desde que se ha generado en las nubes

por condensación a la fase líquida a partir de la fase de vapor, y durante todo su recorrido a través de la atmósfera, ha tenido tiempo de reaccionar con los gases existentes en ella los cuales al disolverse en el agua modifican totalmente sus características iniciales como especie química H₂O.

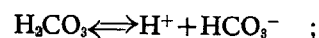
Los gases existentes en el aire que vamos a considerar aquí como principalmente influyentes son el anhídrido carbónico CO₂, el oxígeno O₂ y el nitrógeno N₂.

a) Acción del anhídrido carbónico.

Existe en la atmósfera en cantidades del orden de 0,03 por 100, al disolverse en el agua de lluvia (su solubilidad es de 0,04 vol. de CO₂ por litro), parte de él (el 1 por 100), se combina con ella produciendo ácido carbónico (en realidad una disolución diluida del mismo) según el equilibrio:

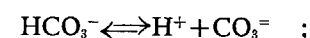


Dicho ácido, de carácter débil, presenta las siguientes constantes de disociación:



$$K_1 = \frac{|\text{H}^+| \cdot |\text{HCO}_3^-|}{|\text{H}_2\text{CO}_3|} = 10^{-3,7}; \quad \text{p}K_1 = 3,7$$

y

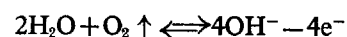


$$K_2 = \frac{|\text{H}^+| \cdot |\text{CO}_3^{=}|}{|\text{HCO}_3^-|} = 10^{-10,2}; \quad \text{p}K_2 = 10,2$$

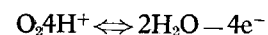
que debemos tener en cuenta en nuestros cálculos, aunque cuantitativamente el hecho a señalar es que el agua metórica en cuestión ha adquirido determinado poder de ceder protones, determinado carácter ácido, por lo que su pH, será inferior a 7, poseyendo cierto carácter agresivo.

b) Acción del oxígeno.

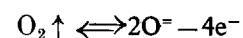
Existente en la atmósfera en proporción de 23,15 por 100 es soluble en agua en proporción de $1,5 \cdot 10^{-3}$ mol/l, combinándose en cierta proporción con ella y oxidándola, según el equilibrio:



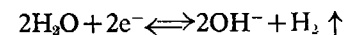
o



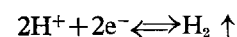
o más esquemáticamente:



pero el agua también puede actuar como oxidante



o más esquemáticamente:



llegándose en cualquiera de ellos, por aplicación de la ley de Nerst de potenciales red-ox a la expresión común:

$$E = E_0 - 0,06 \text{ pH}$$

que para presiones de una atmósfera toma el valor

$$E = 1,23 - 0,06 \text{ pH}$$

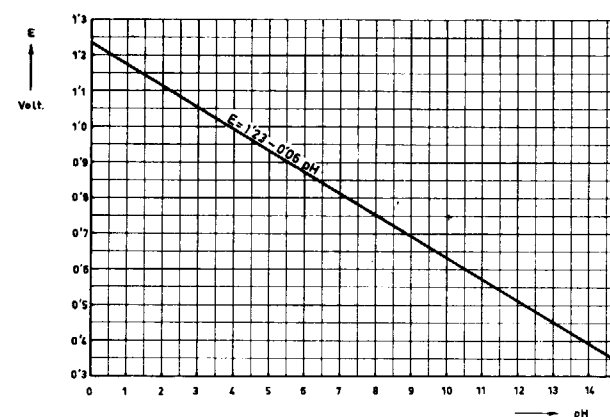


Figura 4-1

Potencial red-ox del agua meteórica en función del pH

que nos define cuantitativamente el potencial red-ox del agua meteórica en función de su pH como consecuencia del oxígeno atmosférico disuelto en ella.

c) Acción del nitrógeno.

Existente en la atmósfera en alto porcentaje, 75,5 por 100 su solubilidad en el agua es del orden del 10^{-3} mols de N₂ por litro.

Su alta inercia química no lo hace reaccionable con el agua, por lo que no produce en ella directamente ninguna propiedad adicional.

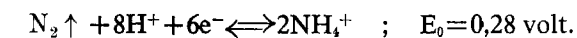
Sin embargo, arrastrado el N₂ por el agua de lluvia, que hace las veces de vehículo de transporte, al llegar al suelo, en la biosfera, gracias a los microorganismos existentes en ella, es fijado en virtud de la acción enzimática selectiva de determinadas bacterias dando origen a formas tanto oxida-

das como reducidas de compuestos nitrogenados, que esquematizamos en los siguientes equilibrios:



$$E_0 = 1,22 \text{ volt.}$$

y



que constituyen los estados extremos de la gama de valencias de los compuestos nitrogenados, en los que caben innumerables sistemas intermedios que no detallamos, pero que pueden personalizar determinados procesos que ocurren en el seno de los suelos.

En definitiva, el nitrógeno atmosférico no produce en el agua meteórica otro efecto que el de su disolución en su seno; pero esta es una de las causas indirectas de su fijación en el suelo dando origen, al dar entrada a otras motivaciones, a la formación de una extensa gama de compuestos nitrogenados, que en determinados casos concretos, pueden tener gran importancia geoquímica.

5. ALGUNOS EJEMPLOS.

De una manera general nos vamos a apoyar en el diagrama de Goldschmidt generalizado por Rankama que representa bajo el punto de vista geoquímico los principales tipos de sedimentos, los cuales son:

- Inatacados.
- Hidrolizados.
- Oxidados.
- Reducidos.
- Precipitados.
- Evaporados.
- Biolitos.

Los inatacados, como su nombre indica, no encajan en los mecanismos que hemos definido, por lo que prescindiremos de ellos al no constituir el objeto perseguido. Los hidrolizados y oxidados, por el contrario, se identifican plenamente con nuestro asunto, trataremos algún ejemplo a continuación. Los reducidos, a pesar de responder su génesis a mecanismos del tipo red-ox, tampoco los trataremos por ser infrecuentes en condiciones meteóricas; sin embargo, los utilizaremos como punto de partida para en algún ejemplo concreto, v. gr.: los subproductos hipergenéticos o sedimentogénicos que pueden producir por meteorización.

Los precipitados de lleno en nuestro planteamiento básico, serán objeto también de algún ejemplo. Los evaporados, a pesar de responder a su vez a mecanismos de tipo físico-químico, prescindiremos de ellos, pues no pretendemos aquí insis-

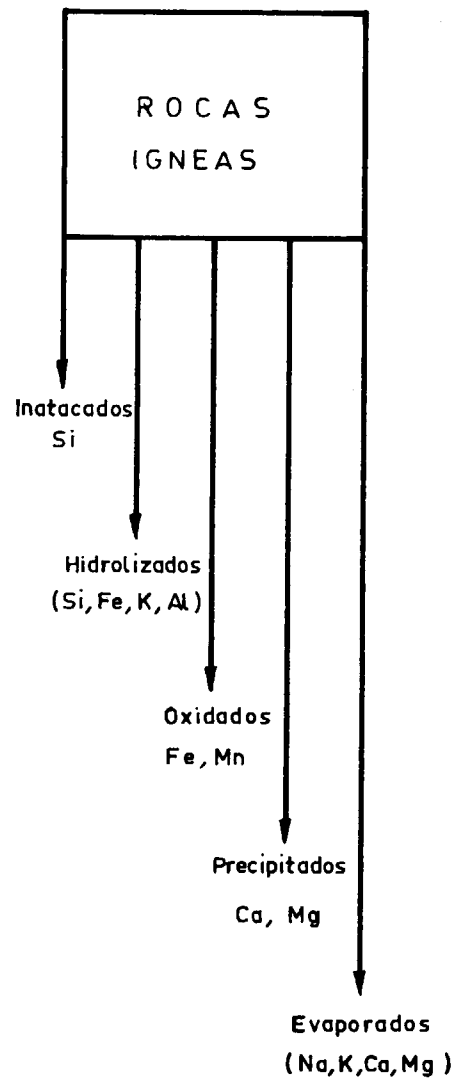


Figura 5-1

Características de los sedimentos que se forman durante la meteorización, transporte y sedimentación (GOLDSCHMIDT)

tir en el fenómeno de la cristalización, así como finalmente los biolitos de origen típicamente bioquímico, sólo los citaremos en el caso de ocurrir alguna acción catalítica de tipo microbiológico, cuando actúe sobre los equilibrios que estamos consi-

derando. En definitiva, nos quedamos, pues, con tres tipos de depósitos fundamentales:

- Hidrolizados.
- Oxidados.
- Precipitados.

susceptibles de producir acumulaciones o depósitos de yacimientos, que estudiaremos enfocándolos bajo el prisma de los mecanismos físico-químicos que hemos desarrollado en los anteriores apartados.

Comenzaremos por desarrollar algunos casos concretos, a base de combinar parejas de mecanismos básicos, directamente aplicables a casos definidos, concretamente a los ciclos del azufre y del hierro (v. gr., A, B y C).

A) Solubilidad de los sulfuros en función del pH.

Se trata de resolver una función del tipo:

$$f(Ps, pH)=0$$

Los sulfuros son sustancias muy poco solubles, como se deduce de los valores de algunos productos de solubilidad de dichas sustancias:

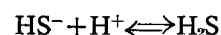
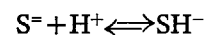
S Fe	...	Ps=10 ^{-21,6}	mol/l
S Ni	...	Ps=10 ^{-27,7}	"
S Co	...	Ps=10 ^{-26,7}	"
S Zn	...	Ps=10 ^{-28,4}	"
S Pb	...	Ps=10 ⁻²⁹	"
S Sn	...	Ps=10 ^{-28,1}	"
S Cu ₂	...	Ps=10 ^{-49,6}	"
S Hg	...	Ps=10 ^{-53,5}	"

sin embargo, como veremos a continuación, la influencia del pH en la solubilidad de estas sustancias es considerable.

En efecto, sea el sulfuro MS; su producto de solubilidad es:

$$[M^{++}] \cdot [S^{=}] = Ps$$

Quando el pH disminuye, S⁼ tiende a desaparecer de la solución al reaccionar con los protones H⁺ para dar sucesivamente iones SH⁻ y H₂S en virtud de los siguientes equilibrios:



a los que corresponden las siguientes constantes de equilibrio de resultados de aplicarles la ley de acción de masas:

$$\frac{[S^{=}][H^{+}]}{[SH^{-}]} = 10^{-15} \quad \text{y} \quad \frac{[HS^{-}][H^{+}]}{[H_2S]} = 10^{-7}$$

de donde

$$\frac{[S^{=}][H^{+}]^2}{[H_2S]} = 10^{-22}$$

la solubilidad del sulfuro en cuestión, puede medirse por la actividad del catión M⁺⁺ en solución

$$Sol = [M^{++}]$$

Pero

$$[M^{++}] = [S^{=} + [SH^{-}] + [H_2S]$$

pues las cantidades de M⁺⁺ y S⁼ son iguales al comienzo, en el sulfuro MS.

$$Sol = [M^{++}] = [S^{=} + [SH^{-}] + [H_2S]$$

y si reemplazamos los valores de dichas actividades en las ecuaciones anteriores, tendremos:

$$Sol = [S^{=}]\left(1 + \frac{[H^{+}]}{10^{-15}} + \frac{[H^{+}]^2}{10^{-22}}\right)$$

o lo que es lo mismo:

$$Sol^2 = [M^{++}] \cdot [S^{=}]\left(1 + \frac{[H^{+}]}{10^{-15}} + \frac{[H^{+}]^2}{10^{-22}}\right)$$

y, por tanto,

$$Sol = \sqrt{Ps} \cdot \sqrt{1 + \frac{[H^{+}]}{10^{-15}} + \frac{[H^{+}]^2}{10^{-22}}}$$

que es la expresión matemática de la función que define la solubilidad de los sulfuros en función del pH. Su forma gráfica viene expresado en la figura 5-2.

En ella puede verse que por debajo de pH=7, los dos primeros términos bajo el radical son despreciables, variando la solubilidad como:

$$Sol = \sqrt{Ps} \frac{[H^{+}]}{10^{-11}}$$

Si \sqrt{Ps} es muy pequeño, la solubilidad que varía con relación de 1 a 10, cuando el pH varía una unidad, puede seguir todavía muy pequeña.

Así, con el Hg S, que tiene Ps=10^{-53,5}, a pH=0 la solubilidad ha aumentado hasta 10⁻¹⁵, evidente-

mente pequeña todavía; pero con el Zn S, se tiene Ps=10^{-28,4}, por lo tanto, a pH=4 la solubilidad ya es del orden de 10⁻⁵, y a pH=1, importa 10⁻³, cifra ya no despreciable.

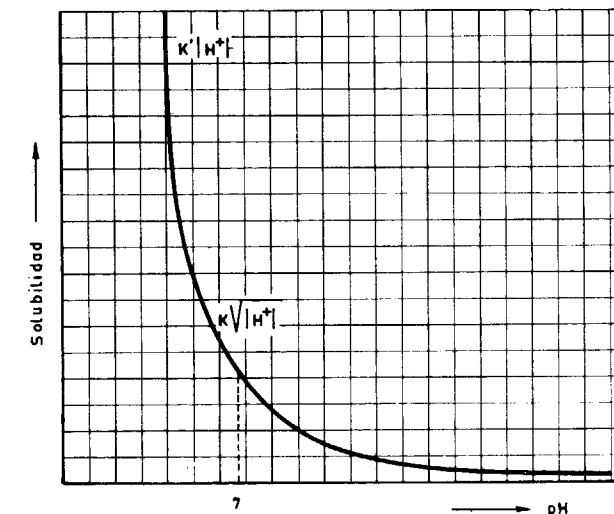


Figura 5-2

Solubilidad de los sulfuros en función del pH

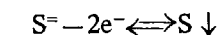
$$Sol = \sqrt{Ps} \cdot \sqrt{1 + \frac{[H^{+}]}{10^{-15}} + \frac{[H^{+}]^2}{10^{-22}}}$$

B) Propiedades red-ox de los sulfuros en función del pH.

Se trata de resolver una función del tipo:

$$f(E, pH)=0$$

El par red-ox, azufre-sulfuro, responde al siguiente equilibrio:



Si le aplicamos la ecuación de Nerst, dando valor numérico a su potencial normal E₀, tendremos la expresión

$$E = 0,51 - 0,03 \log [S^{=}]$$

Pero S⁼ es una base bastante fuerte que desaparece cuando el pH disminuye para dar sucesivamente HS⁻ y H₂S. Por tanto, los sulfuros serán menos reductores, o el azufre más oxidante, en medio ácido por disminución de [S⁼].

Recordemos los equilibrios y leyes de acción de masas utilizados en el caso anterior, y supon-

gamos una solución en la cual conocemos la concentración total de S^- que suponemos la unidad. El potencial de esta solución será el potencial normal, y variará, pues, con el pH.

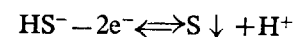
Podremos escribir:

$$1 = |S^-| + |HS^-| + |H_2S| = |S^-| \cdot \left(1 + \frac{|H^+|}{10^{-15}} + \frac{|H^+|^2}{10^{-22}} \right)$$

de donde finalmente

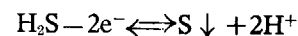
$$E = -0,51 + 0,03 \log \left[1 + \frac{|H^+|}{10^{-15}} + \frac{|H^+|^2}{10^{-22}} \right]$$

Actuando de la misma manera con los sistemas redox:



$$E = -0,28 - 0,03 \log \frac{|HS^-|}{|H^+|}$$

y



$$E = 0,13 - 0,02 \log \frac{|H_2S|}{|H^+|^2}$$

podemos definitivamente construir la gráfica E-pH, en la que se nos define la región de estabilidad de

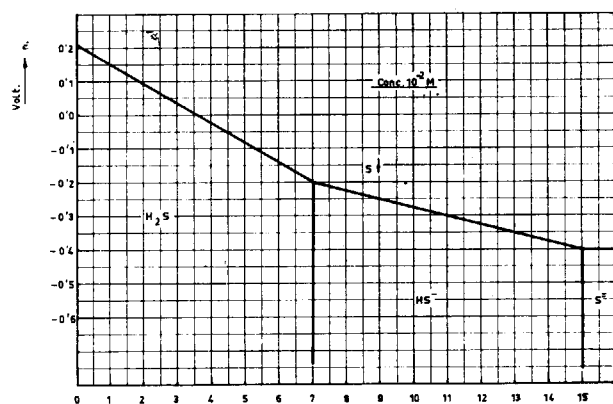


Figura 5-3

Regiones de estabilidad de algunos iones derivados del azufre en función del potencial red-ox del pH

cada uno de los iones y elementos considerados. En la figura 5-3 van calculadas ya todas estas cuestiones.

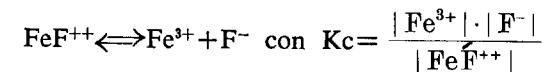
C) *Influencia del pH sobre el equilibrio de los complejos fluorados del hierro.*

Se trata ahora de resolver una función del tipo

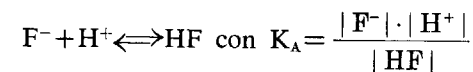
$$f(K, pH) = 0$$

Sea el complejo ferrifluorhídrico FeF^{++} .

En medio acuoso tenemos:



pero F^- es una base, y por consiguiente se tendrá el nuevo equilibrio:



Si a una solución del complejo FeF^{++} se agrega un ácido, el aumento de protones en solución hará paulatinamente desaparecer iones F^- , desplazándose este último equilibrio hacia la derecha, lo que condicionará a su vez el desplazamiento en el mismo sentido del primer equilibrio para compensar la ausencia de iones F^- en la solución, resultando en definitiva que aparecerán iones Fe^{3+} .

Y como la concentración total de fluor, es igual a la del hierro en condiciones iniciales, podemos escribir:

$$|F^-| + |HF| = |Fe^{3+}|$$

o también

$$|FeF^{++}| + |F^-| + |HF| = |FeF^{++}| + |Fe^{3+}|$$

y eliminando $|F^-|$ entre estas dos igualdades, y las dos aplicaciones de ley de acción de masas K_A y K_c , resulta en definitiva, llamando C a la concentración del complejo $|FeF^{++}|$:

$$|Fe^{3+}| = \sqrt{K_c \cdot C \cdot \left(1 + \frac{|H^+|}{K_A} \right)}$$

que nos da cuantitativamente la aparición de iones Fe^{3+} en solución en función del pH, y que es válida solamente cuando el complejo ferrifluorhídrico es estable.

En la figura 5-4 viene su forma cuantitativamente expresada, pudiendo extraerse las siguientes observaciones.

$|Fe^{3+}|$ depende de la concentración inicial y también del pH, de la constante de estabilidad del complejo K_c y de la constante del par ácido-base K_A que

interviene. El complejo se halla tanto más destruido cuanto el medio es más ácido, la base más fuerte, y el complejo, en sí mismo, menos estable.

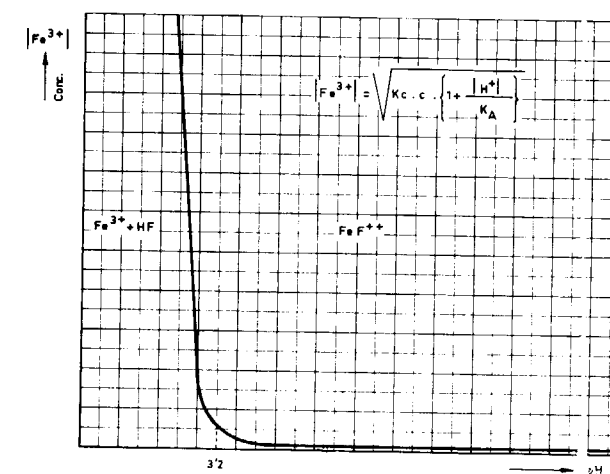


Figura 5-4

Estabilidad del complejo FeF^{++} en función del pH

Se ve que para

$$|H^+| < K_A, \quad \text{o} \quad pH > pK_A$$

el valor $|H^+|/K_A$ se hace despreciable y se tiene:

$$|Fe^{3+}| = \sqrt{K_c \cdot C}$$

no influyendo para nada el pH.

Sin embargo, para:

$$pH < pK_A$$

la unidad se hace rápidamente despreciable con relación a $|H^+|/K_A$ y se tiene:

$$|Fe^{3+}| = \sqrt{K_c \cdot C \cdot \frac{|H^+|}{K_A}}$$

entonces $|Fe^{3+}|$ crece proporcionalmente a $\sqrt{|H^+|}$.

En nuestro caso concreto, $K_A = 10^{-3,2}$. Por encima de $pH = 3,2$ la estabilidad del complejo no cambia. En medio más ácido que $pH = 3,2$ el complejo libera paulatinamente iones Fe^{3+} , ahora bien, como K_c interviene como factor, la concentración de los iones férricos, no es apreciable más que a partir de un pH inferior a 3,2.

En el caso de complejos muy estables este pH, puede ser muy inferior a pK_A , y se podría definir un

pH a partir del cual cabría considerar un complejo como estable.

Por ejemplo, de resultados de estas consideraciones, podemos justificar porqué otros complejos del Fe^{3+} desaparecen ya en medio alcalino, v. gr.: complejo carbónico:

$$pH = pK = 10,2$$

complejo sulfhídrico:

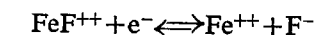
$$pH = pK = 14,9$$

complejo fosfórico:

$$pH = pK = 12,3$$

es decir, que no pueden ser estables más que por encima de dichos valores de pH respectivamente.

De la misma manera, si aplicamos la ecuación de Nerst, sobre el equilibrio:



tendríamos:

$$\begin{aligned} E &= E_0 + 0,06 \log \frac{|Fe^{3+}|}{|Fe^{2+}|} = \\ &= E_0 + 0,06 \log \frac{K_c |FeF^{++}|}{|Fe^{2+}| \cdot |F^-|} = \\ &= E_0 + 0,06 \log K_c + 0,06 \log \frac{|FeF^{++}|}{|Fe^{2+}| \cdot |F^-|} \end{aligned}$$

de la que fácilmente se puede deducir que E es tanto menor cuanto más pequeño es K_c , y, por tanto, cuanto más estable sea el complejo y también cuanto mayor sea la concentración $|F^-|$ del ion complejante.

Vamos ahora a aplicar la termodinámica para estudiar la deposición de los carbonatos, observando la influencia de las funciones de estado; presión y temperatura, poniendo de relieve una metodología que consideramos muy interesante.

D) *Deposición de los carbonatos.*

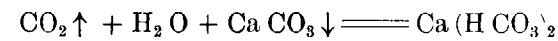
En realidad lo que vamos a hacer, es, basándonos en la termodinámica, resolver para el caso del carbonato cálcico frente al agua metéorica las funciones:

$$f(P_s, pH) = 0$$

$$f(T, P_s) = 0$$

$$f(p, P_s) = 0$$

El equilibrio fundamental y su ley de acción de masas son, respectivamente:



y

$$K = \frac{|\text{Ca}^{++}| \cdot |\text{HCO}_3^-|^2}{|\text{CaCO}_3| \cdot |\text{H}_2\text{O}| \cdot |\text{CO}_2|}$$

por otro lado, la ecuación de corrimiento del equilibrio, aplicado a las disoluciones diluidas toma la forma:

$$-\frac{Q}{T} dT + \delta V dp + RT \sum_{ij} V_j^{(i)} \frac{dc_j^{(i)}}{c_j^{(i)}} = 0$$

en la que el potencial químico μ y la masa de los componentes m han sido reemplazados por v y c , que corresponden a los números y a las especies químicas que definen la reacción.

La regla de las fases, por su parte, nos indica que

$$l = n - f + 2 = 3 - 2 = 2$$

el sistema posee dos grados de libertad, es decir, la presión y temperatura cuya variación pretendemos estudiar.

Para ello partimos de una de las formas generales de la ley de acción de masas que nos da la termodinámica:

$$\ln K = \frac{1}{RT} \sum_{ij} v_j^{(i)} G_j^{(i)}$$

y tomamos derivadas con respecto a la temperatura y presión, respectivamente, tendremos:

$$\frac{\partial \ln K}{\partial T} = -\frac{1}{RT} \sum_{ij} v_j^{(i)} \frac{\partial G_j^{(i)}}{\partial T} + \frac{1}{RT^2} \sum_{ij} v_j^{(i)} G_j^{(i)}$$

y

$$\frac{\partial \ln K}{\partial p} = \frac{1}{RT} \sum_{ij} v_j^{(i)} \frac{\partial G_j^{(i)}}{\partial p}$$

pero recordando la definición de entalpía libre

$$G = U - TS + pV$$

o en forma diferencial

$$dG = dU - TdS - SdT + pdV + Cdp$$

(en la que U es la energía interna del sistema)

y mediante la combinación del 1.º y 2.º principio de la termodinámica:

$$dQ = TdS = dU + pdV$$

queda

$$dG = -SdT + Vdp$$

de donde

$$\frac{\partial G}{\partial T} = -S \quad \text{y} \quad \frac{\partial G}{\partial p} = V$$

por lo que, reemplazando dichos valores, tendremos, respectivamente:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln K}{\partial T} &= \frac{1}{RT} \sum_{ij} v_j^{(i)} S_j^{(i)} + \frac{1}{RT^2} \sum_{ij} v_j^{(i)} G_j^{(i)} = \\ &= \frac{1}{RT^2} \sum_{ij} v_j^{(i)} [U_j^{(i)} + pV_j^{(i)}] \end{aligned}$$

y

$$\frac{\partial \ln K}{\partial p} = \frac{1}{RT} \sum_{ij} v_j^{(i)} V_j^{(i)}$$

y aplicando en la primera el principio de equivalencia y en la segunda considerando que el corrimiento del equilibrio representa el aumento de volumen del sistema, quedará, finalmente:

$$\frac{\partial \ln K}{\partial T} = \frac{Q}{RT^2} \quad \text{y} \quad \frac{\partial \ln K}{\partial p} = -\frac{\Delta V}{RT}$$

Integrando y dando valores, podemos construir las figuras 5-5 y 5-6, que representan las influen-

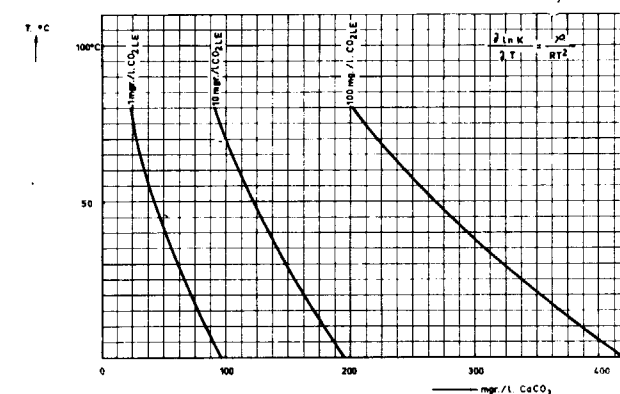


Figura 5-5

Influencia de la temperatura en la solubilidad del CaCO_3

cias respectivas de la temperatura y presión sobre la constante de equilibrio, deduciéndose inmediatamente que el carbonato cálcico es más soluble en

frío que en caliente, y que la constante de equilibrio es proporcional a la presión, de una manera lineal.

Lo que está perfectamente de acuerdo tanto con las condiciones genéticas de formación de arrecifes, con la deposición de tobas en las sugerencias kársticas, etc.

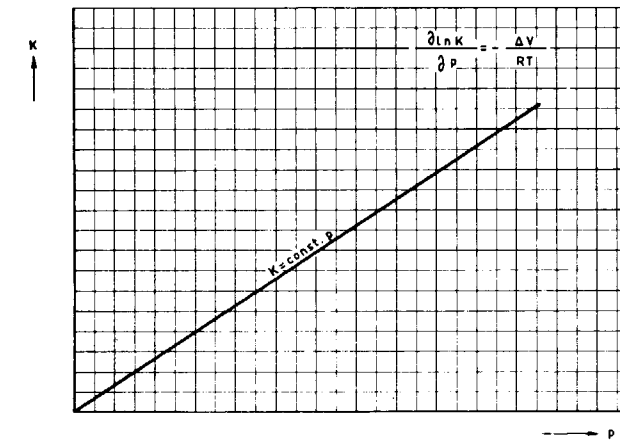


Figura 5-6

Influencia de la presión sobre la solubilidad del CaCO_3

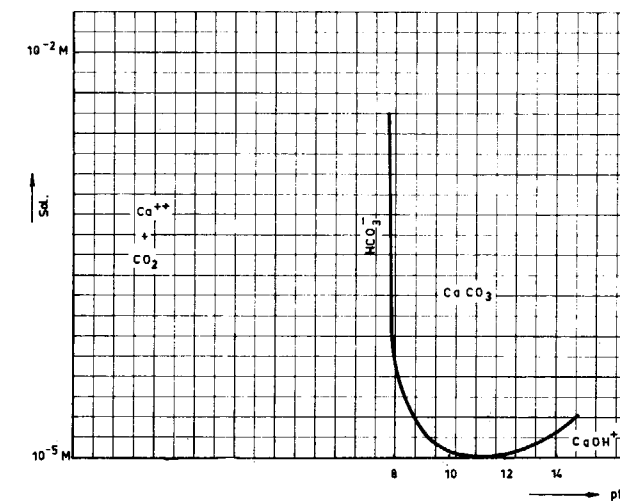


Figura 5-7

Solubilidad del CaCO_3 en función del pH

Las regiones de estabilidad del CaCO_3 en función del pH, son deducibles de análoga manera a como lo hicimos con los sulfuros, llegando a la expresión

$$\text{Sol}_{\text{CaCO}_3} = \sqrt{P_s} \cdot \sqrt{1 + \frac{|\text{H}^+|}{10^{-10,2}} + \frac{|\text{H}^+|^2}{10^{-16,6}}}$$

siendo

$$P_{\text{CaCO}_3} = 10^{-8,3} \text{ mol/l}$$

función cuya forma gráfica cuantitativa expresamos en la figura 5-7.

E) Las curvas P_s -pH y E -pH del hierro y manganeso.

Ambos elementos poseen las características comunes de que por un lado pueden presentar varios estados de valencia en sus compuestos, y por otro, sus hidrolizados (hidróxidos) son poco solubles.

Si, por consiguiente, aplicamos dichos elementos los precedentes mecanismos fundamentales, de

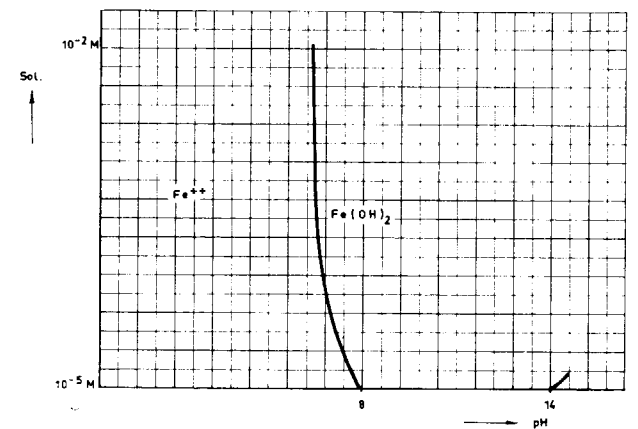


Figura 5-8

Solubilidad del $\text{Fe}(\text{OH})_2$ en función del pH

una manera análoga a como hemos actuado en los anteriores apartados, podremos deducir cuantitativamente las siguientes funciones:

$$f(P_s - \text{pH}) = 0, \text{ del } \text{Fe}(\text{OH})_2, \text{ figura 5-8}$$

$$f(P_s - \text{pH}) = 0, \text{ del } \text{Fe}(\text{OH})_3, \text{ figura 5-9}$$

$$f(E - \text{pH}) = 0, \text{ figura 5-10}$$

para el manganeso:

$$(E - \text{pH}) = 0, \text{ figura 5-11}$$

que en las referidas figuras presentamos ya calculadas, pudiendo ser utilizadas para explicar depósitos de siderita y goetita para el hierro y de piro-lusita y dialoguita para el manganeso.

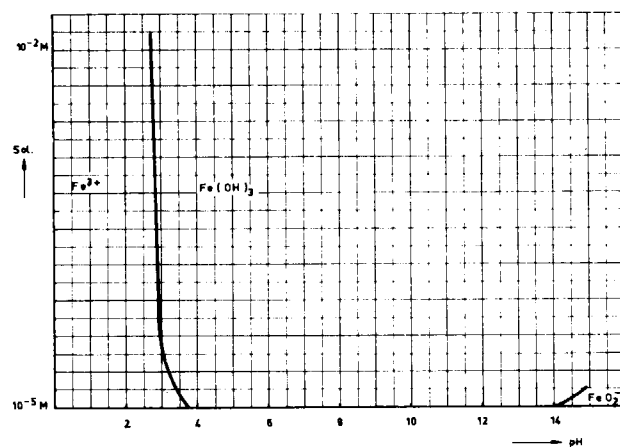


Figura 5-9

Solubilidad del Fe(OH)₃ en función del pH

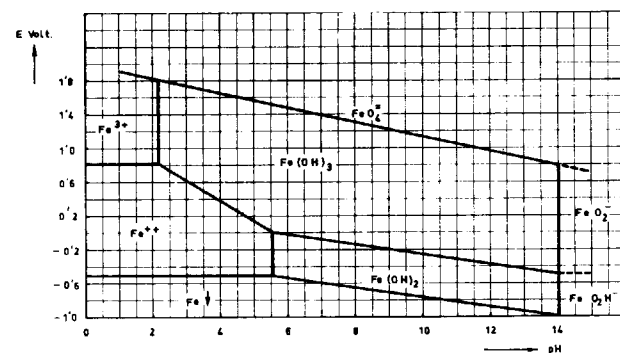


Figura 5-10

Regiones de estabilidad de los diferentes iones derivados del hierro a tenor del potencial red-ox y del pH de la solución

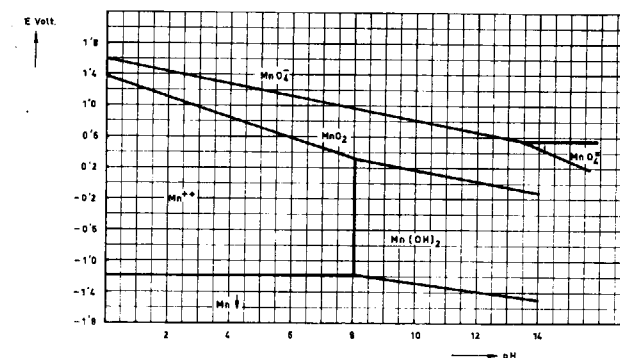


Figura 5-11

Regiones de estabilidad de los diferentes iones derivados del manganeso a tenor de la función E-pH

F) Las curvas E-pH de los iones derivados del azufre.

Actuando siempre de la misma manera podemos también cuantitativamente deducir las regiones de estabilidad de todos los iones derivados del azufre en función de sus diferentes pares red-ox, y del carácter ácido o básico de la solución acuosa.

De esta suerte llegamos a la figura 5-12, que resume todos los cálculos.

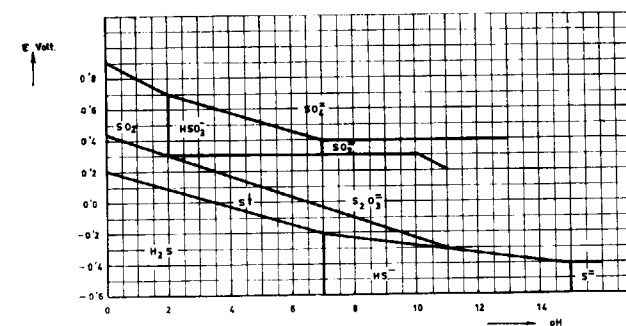


Figura 5-12

Regiones de estabilidad de los iones derivados del azufre en función del pH y el potencial red-ox

G) La oxidación de las piritas por la acción del agua meteórica.

La piritita de hierro, de fórmula FeS₂, se supone que está compuesta de sulfuro ferroso y azufre en idéntica proporción. Sin hurgar esta cuestión, nos limitaremos a nuestro objeto, que consiste, en este caso, en comparar el poder oxidante del agua meteórica (fig. 4-1), con las curvas E-pH características del azufre y el hierro.

El resultado es muy interesante, pues, por un lado, resulta que el agua de lluvia puede oxidar tanto al azufre como a los sulfuros, hasta formar con ellos ion sulfato (SO₄⁼), así como al hierro ferroso, hasta formar hierro férrico, el cual por su insolubilidad se nos presentará como hidróxido férrico, como puede verse en la tabla que presentamos a continuación:

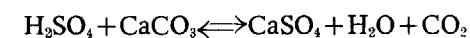
En efecto, la meteorización de la piritita se puede explicar por una serie de reacciones químicas, cuyo conjunto es el siguiente:



con formación de sulfato ferroso y ácido sulfúrico, el cual, al descender el pH, solubiliza más los sulfuros, como ya hemos visto.

pH	E del agua (voltios)	ion estable del azufre	ion o forma estable del hierro
2	1,11	SO ₄ ⁼	Fe ³⁺
3	1,05	SO ₄ ⁼	Fe(OH) ₃
4	0,99	SO ₄ ⁼	Fe(OH) ₃
5	0,93	SO ₄ ⁼	Fe(OH) ₃
6	0,87	SO ₄ ⁼	Fe(OH) ₃
7	0,81	SO ₄ ⁼	Fe(OH) ₃
8	0,75	SO ₄ ⁼	Fe(OH) ₃
9	0,69	SO ₄ ⁼	Fe(OH) ₃

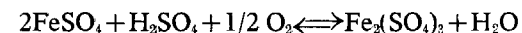
Si se da la circunstancia que existan cerca materiales carbonatados (v. gr. CO₃), neutralizarán el exceso de ácido según la reacción:



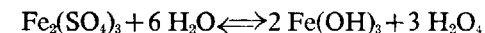
que provocaría aún la disolución adicional de más CaCO₃



pero el sulfato ferroso muy soluble también puede ser oxidado por el agua meteórica:



en la que el sulfato férrico del segundo miembro si nos encontramos a pH > 3, es susceptible de hidrolizarse de la siguiente manera:



produciendo un depósito de limonita.

En definitiva, la oxidación por el agua meteórica de la piritita de hierro produce un depósito sedimentogénico de limonita y otro hipergénico de yeso (más soluble).

Las acumulaciones de minerales férricos de la montera del hierro pueden tener este origen, y las corrosiones, tan intensas en el Karst en calizas y margas piritosas, se deben también a este mecanismo.

Mediante análogo procedimiento pueden, a su vez, justificarse las acumulaciones de pirlusita u otros minerales.

H) Las curvas Ps-pH de los hidrolizados del aluminio.

Mediante la simple aplicación de las curvas de solubilidad de los hidróxidos poco solubles (fig. 2-1) podemos deducir la forma de la función correspondiente al hidróxido de aluminio, que representamos en la figura 5-13, en la que pueden verse que aguas no muy alejadas de la neutralidad pueden ser capaces de provocar acumulamientos de este tipo de materiales.

Quizás por esta razón se presentan en la naturaleza yacimientos de bauxitas fosilizadas Karsts antiguos.

Algunos yacimientos de fosforitas podrían justificarse de semejante manera.

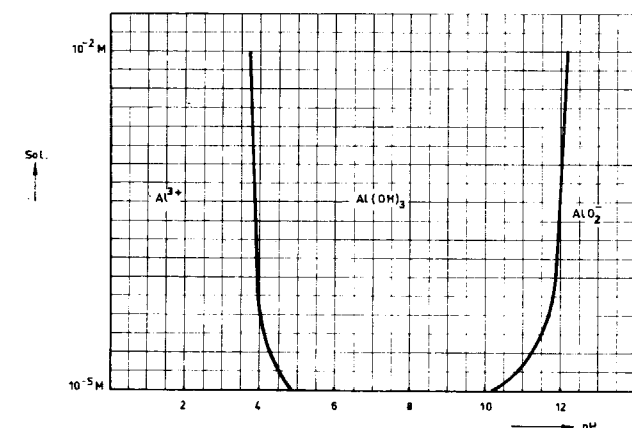


Figura 5-13

Solubilidad del Al(OH)₃ en función del pH

G) Generalidades sobre los hidrolizados.

Las sustancias arcillosas que se forman por la acción de la intemperie son los primeros representantes de los sedimentos de hidrolizados. Se caracterizan por su presentación como partículas sólidas arrastradas por suspensión y poseen a menudo dimensiones coloidales. Las más importantes por su abundancia son las arcillas.

Estas se componen de partículas minerales residuales y de verdaderos minerales arcillosos formados durante la meteorización.

Entre los primeros figuran el cuarzo y los feldespatos, y entre los segundos, los auténticos minerales arcillosos.

Estos se componen fundamentalmente de silicatos aluminicos hidratados y de algunos hidróxidos

de aluminio, conservando aquéllos estructuras reticulares bien definidas, que ha permitido clasificarlos.

Existen, en consecuencia, grupos bien caracterizados, de los que exponemos a continuación los más importantes (Millot).

I. Grupo de la CAOLINITA:

Caolinita, Dickita, Nacrita, Halloysita.
Caolinitas desordenadas,
Serpentinas y homeotipos de la caolinita.

II. Grupo de las MICAS:

Micas,
Pirofilita y talco,
Illitas,
Politipos de la moscovita,
Glauconita.

III. Grupo de MONTMORILLONITA:

Serie dioctaédrica *montmorillonita-Beidellita*,
Serie dioctaédrica *nontromita-beidellita*,
Serie trioctaédrica *stevensita-saponita*.

IV. Grupo de las CLORITAS:

Cloritas,
Cloritas de hierro,
Cloritas expansivas,
Cloritas dioctaédricas.

V. Grupo de las VERMICULITAS:

Vermiculita.

VI. Minerales arcillosos interestratificados.

VII. Grupo de las ATAPULGITAS Y SEPIOLITAS:

Atapulguita,
Sepiolitas.

VIII. Los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio.

Su génesis en la que la acción del agua meteórica juega un importantísimo papel, depende, no obs-

tante, muchísimo de la acción del clima, de la composición petrográfica de las rocas atacadas y de las condiciones locales, por lo que no es fácil encontrar acumulaciones de un solo mineral.

Sus propiedades, de intercambio de iones (bien en sus largas cadenas, bien en sus capas octoédricas, según los casos), de elevada hidratación por absorción de moléculas polares de agua, en varias capas, y sus características refractarias hacen de algunos de sus representantes que sean muy apreciados industrialmente, constituyendo, en conjunto, una conspicua familia que ha precisado de métodos especiales para su estudio.

6. CONCLUSIONES.

Como habrá podido deducirse de la lectura de estas líneas, hemos dado solamente un fugaz vistazo al vasto panorama que la acción de las aguas meteóricas representan al actuar sobre la corteza terrestre.

No hemos pretendido profundizar en ninguna paragénesis especial, ya que nuestro objeto se ha remitido a poner de relieve lo que consideramos una nueva metodología, pragmática a la hora de interpretar determinado yacimiento exógeno o al estudiar rellenos fosilizante del Karst.

Consideramos que los mecanismos físico-químicos a que hemos hecho alusión en el transcurso de estas líneas, y que se remiten a la forma especial en cada caso que adquiere la función general:

$$f(\text{pH}, \text{E}, \text{Ps}, \text{K})=0$$

son de imprescindible utilización para reinterpretar adecuadamente los ciclos geoquímicos de cualquier elemento, seguirles la pista en su evolución geodinámica o esclarecer algunos de los fenómenos que se dan en el Karst.

La base del método depende substancialmente tanto de las condiciones impuestas por el medio (E, pH) como de las características propias de los compuestos que, con carácter interdependiente intervienen en él (P, Ps), sin olvidar las condiciones termodinámicas bajo las que los procesos se realizan.

No obstante, las limitaciones son evidentes a la hora de interpretar la génesis de los minerales ar-

cillosos, por la sencilla razón de que no responden a estequiometrías definidas, que invalidan nuestro tratamiento y donde hacen falta otros enfoques diferentes.

B I O G R A F I A

CHARLOT, G.: *Teoría y método nuevos de química analítica y cuantitativa*. Aguilar, 1 vol., 432 pág.

RANKAMA-SAJAMA: *Geoquímica*. Aguilar, 1 vol., 525 pág.

ERASO, A.: *Sobre la influencia de los iones de valencia múltiple en el carvenamiento*. Notas y comunicaciones del IGME, núm. 71, págs. 63-86, 1963.

ERASO, A.: *Mecanismos sobre la corrosión en el Karst y su repercusión en geodinámica*. Bol. Geol y Min., T. LXXX, 2.º, págs. 42-65, 1969.

ERASO, A.: *La insaturación del agua en la zona freática del Karst y sus fundamentos termodinámicos*. Bol. Geol y Min., T. LXXX, 4.º, págs. 48-56, 1969.

GLASSTONE, S.: *Tratado de Química-Física*. Aguilar, 1 volumen, 1.180 págs.

KERN-WEISBROD: *Thermodynamique de base pour Mineralogistes, Petrographes et Géologues*. Masson, 1 vol., 244 págs.

MILLOT, G.: *Géologie des Argiles*, Masson, 1 vol., 450 páginas, 1964.

Recibido: Marzo 1973.

Estudio mineralógico de la piromorfita de Horcajo (Ciudad Real)

Por A. CABALLERO (*), M. DOVAL (*) y J. M. MARTIN POZAS (**)

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio mineralógico de la piromorfita de Horcajo (Ciudad Real). Se describen los tres tipos de cristales encontrados en esta localidad, y se caracteriza por difracción de rayos X, ATD, TG, espectroscopía de infrarrojos, análisis químico y fluorescencia de rayos X, el tipo de piromorfita verde-amarillenta, considerada como la más representativa de Horcajo. Los resultados obtenidos mediante las diferentes técnicas, muestran que la piromorfita de Horcajo es una especie muy cercana en composición a una piromorfita de fórmula $Pb_{10}(PO_4)_6Cl_2$, con una ligera sustitución de Pb por Sb y de fósforo por arsénico, y un pequeño déficit de cloro en su estructura.

ABSTRACT

In this paper, a mineralogical study of the pyromorphite from Horcajo (Ciudad Real), has been realized. It has been found in this deposits three different kinds of crystals, that are here described. The study has been carried out on the green-yellowish variety, considered as the most representative one. The results obtained by means of X-ray diffraction, DTA, TG, infrared spectroscopy, chemical analysis and X-ray fluorescence, show that the pyromorphite from Horcajo has a composition very similar to the $Pb_{10}(PO_4)_6Cl_2$ with a slight isomorphous exchange of Pb by Sb and $(PO_4)^{3-}$ by $(AsO_4)^{3-}$ together with a short deficit of Cl in its structure.

INTRODUCCION

La piromorfita es un fosfato que pertenece al grupo de los apatitos, los cuales poseen de fórmula general $A_{10}(XO_4)_6Z_2$, y que engloba una gran variedad de especies naturales y sintéticas. En la tabla I se muestran los elementos químicos que con más frecuencia forman este grupo de sustancias. Las piromorfitas son apatitos en los que el catión A es fundamentalmente plomo y constituyen una serie esomórfica entre tres términos extremos: piromorfita + s. + s. $Pb_{10}(PO_4)_6Cl_2$ + mimetita $Pb_{10}(AsO_4)_6Cl_2$ y vanadina $Pb_{10}(VO_4)_6Cl_2$.

Los recientes estudios cristalquímicos de Cockbain (1968), sobre estos minerales, muestran que,

(*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Universidad Complutense. Madrid.
(**) Instituto "Lucas Mallada", C. S. I. C. Madrid.

según la relación de radios entre A y Z, pueden clasificarse todos los apatitos en tres grupos. El primero de ellos, constituido por el grupo de la vanadinita-svabita, en el que la relación de radios está comprendida entre los valores 1,89 y 2,52. El segundo, constituido por el grupo de la mimetita, con relación de radios entre 1,62 y 3,23, y el tercero, el grupo de la piromorfita, con relación comprendida entre 3,33 y 4,42.

Aunque hasta muy recientemente se creía que existía una solución sólida completa entre los tres términos extremos, Cockbain (1968) ha puesto de manifiesto que existen dos intervalos de inmiscibilidad entre estos tres términos, que corresponden a los intervalos de relaciones de radio A : X, 2,50 a 2,60 y 3,25 a 3,35.

Los tres compuestos cristalizan en el sistema hexagonal y poseen una estructura complicada.

TABLA I

Elementos que pueden formar parte de la estructura de los apatitos naturales y sintéticos.

Vanadita-Svabita			Mimetita			Piromorfita		
A	X	Z	A	X	Z	A	X	Z
Na	Si	F	Na	Si	F	Na	Si	Cl
K	P	Cl	Mg	P	Cl	K	P	Br
Ca	V	Br	Ca	V	Br	Ca	S	(OH)
Sr	Cr	I	Ni	Cr	I	Rb	Ge	
Y	Mn	(OH)	Rb	Mn	(OH)	Cs		
La	Ge		Sr	Ge		Ba		
Ce	As		Cd	As		Tl		
Tl			Ba			Pb		
Pb			La					
			Ce					
			Nd					
			Tl					
			Pb					

Baker (1966) los sintetizó y encontró para los mismos las siguientes constantes de cedilla:

	a	c
Piromorfita	9.987	7.330
Vanadinita	10.323	7.346
Mimetita	10.251	7.442

Sus propiedades físicas son muy semejantes, como se ve en la tabla II.

Como se deduce de ella, es muy difícil diferenciar las especies entre sí por sus propiedades físicas; sólo mediante análisis químico, difracción de rayos X o espectroscopía de infrarrojo es posible.

En España existen numerosas localidades, citadas ya por Calderón (1910), en las que existe piromorfita, pero es el Horcajo, en la provincia de Ciudad Real, el yacimiento que mejores ejemplares ha suministrado. Dichos ejemplares se encuentran actualmente en muchos museos nacionales y particu-

lares del mundo, pero probablemente es el Museo Nacional de Ciencias Naturales, de Madrid, el que posee una de las mejores colecciones de este mineral.

A pesar de lo expuesto en el párrafo anterior, los trabajos de investigación realizados hasta el momento sobre la piromorfita de Horcajo, se reducen a una excelente publicación de Pardillo y Gil, en 1916, en la que se estudia la morfología de los cristales.

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización de la piromorfita de Horcajo, considerada como la más importante de todas las españolas, y forma parte de un amplio programa que se realiza en colaboración entre la Sección de Mineralogía del Museo Nacional de Ciencias Naturales y el Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Mineralotecnica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Complutense de Madrid, cuyo fin es el estudio de las especies mineralógicas españolas más representativas.

TABLA II

Propiedades físicas de las piromorfitas s. l.

Mineral	P. esp.	Dureza	Ng	Np
Piromorfita	6,9	5	2,050	2,042
Mimetita	7,2	3,5-4	2,135	2,120
Vanadinita	7,0	3,0	2,354	2,299

MORFOLOGIA DE LOS CRISTALES

La piromorfita de Horcajo es el resultado de la alteración supergénica del sulfuro de plomo, con el que frecuentemente se encuentra asociado y que constituía el objeto de la explotación de dicho yacimiento.

El fosfato de plomo se presenta en este yacimiento formando tres tipos distintos de cristales (Pardillo y Gil, 1916):

- 1) Cristales gruesos proporcionados con crecimientos paralelos unas veces y arracimados otras, en ambos casos de color amarillo verdoso. En la figura 1 se muestran ejemplares

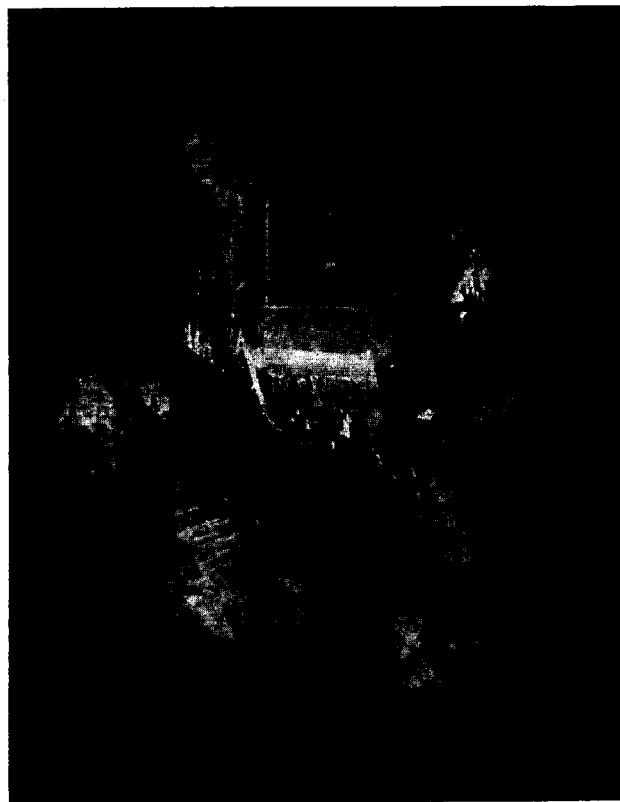


Figura 1

Cristales de piromorfita verde-amarillenta (Horcajo)

de estos cristales, con un crecimiento arracimado.

- 2) Cristales pequeños, regulares y bien constituidos de color ambarino.
- 3) Cristales pequeños, de conformación regular, incoloros y transparentes o grises, azulados, negros y opacos.

Las formas simples más frecuentes en todos los cristales son la $10\bar{1}0$, la $21\bar{3}0$ y la $10\bar{1}1$. La primera de ellas es la más importante, siempre de caras estriadas horizontalmente. La $21\bar{3}0$ da frecuentemente caras con gran desarrollo, de tal modo que el cristal se presenta a veces comprimido y estirado en un sentido, tomando aspecto de cuña. La $10\bar{1}1$, aunque siempre presente, muestra un desarrollo sumamente irregular.

DIFRACCION DE RAYOS X

Se han realizado diagramas de difracción de rayos X de los tres tipos diferentes de cristales que aparecen en el Horcajo. Dichos diagramas no presentan diferencias notables entre sí, ni en cuanto a espaciados ni en cuanto a intensidades. En la figura 2 se muestra el diagrama de difracción de la piromorfita amarillo-verdosa. En la tabla III se exponen los valores correspondientes a los espaciados e intensidades relativas de las principales reflexiones del citado diagrama, comparadas con los resultados obtenidos para una piromorfita pura sintetizada por Baker (1966) y una piromorfita de Brokenhill (Australia).

Como puede observarse, en la citada tabla existe una gran concordancia entre la piromorfita pura sintética y la de Horcajo. Esta concordancia, casi absoluta, parece indicar que la piromorfita objeto de nuestro estudio debe ser muy pura.

Con objeto de establecer con más rigurosidad la posible sustitución del grupo $(PO)_4^{3-}$ por grupos $(AsO_4)^{3-}$ o $(VO)_4^{3-}$, sustitución que afectaría a los valores de los parámetros de la celdilla unidad, se realizó un refinamiento por mínimos cuadrados de dichos parámetros. Para ello se puso a punto un programa en FORTRAN IV, basado en el programa Celfit de Bracher (1967). Como datos de entrada se emplearon los valores de θ para un mínimo de 70 reflexiones. Como parámetros de partida se tomaron los dados por Cockbain (1968).

En las tablas IV, V y VI se exponen las salidas de programa correspondientes a los refinamientos de los parámetros de la piromorfita verde amarillenta, ambarina y gris-negra, respectivamente. En la tabla VII aparecen los valores de a , y c refinados para los tres tipos de cristales, junto a sus márgenes de refinamiento.

Cockbain (1968), en su estudio cristalquímico sobre los apatitos de plomo, deduce un diagrama triangular para las fases: piromorfita, vanadita y

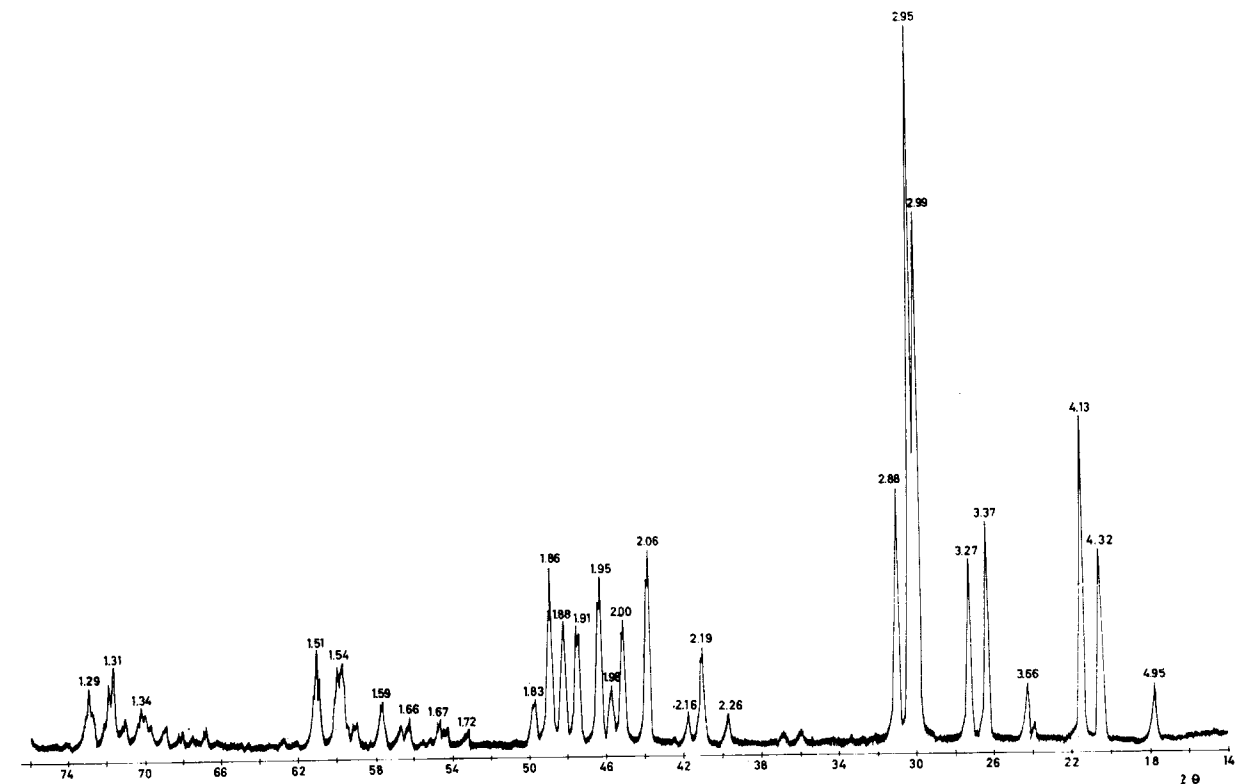


Figura 2

Difractograma de polvo de la piromorfita verde-amarillenta (Horcajo)

mimetita. Al estudiar piromorfitas naturales de Roughthenhill y representar, en dicho diagrama, los valores de sus parámetros a y c , encuentra que algunos términos se sitúan fuera del mismo.

Nosotros hemos realizado un diagrama similar al de Cockbain, variando solamente los valores de a y c de los términos extremos de la serie, sustituyéndolos por los obtenidos por Baker (1966) para especies sintéticas, ya que éstos se adaptan más a los de las piromorfitas por nosotros estudiadas.

En la figura 3 se muestra el diagrama triangular mencionado y la posición de las piromorfitas de Horcajo y Roughthenhill, sobre el mismo.

Como puede observarse, los puntos caen fuera del diagrama teórico, pero muy próximos al vértice de la piromorfita pura, salvo uno de ellos que corresponde a una piromorfita de Roughthenhill, cuya relación $a:c$ es de 1,37, muy cercana a la de la mimetita, mientras que los restantes poseen de relación $a:c$ 1,36, idéntica a la de la piromorfita pura.

El hecho de que los puntos se encuentren fuera del diagrama se debe posiblemente a la influencia de pequeñas sustituciones de Pb por otros cationes

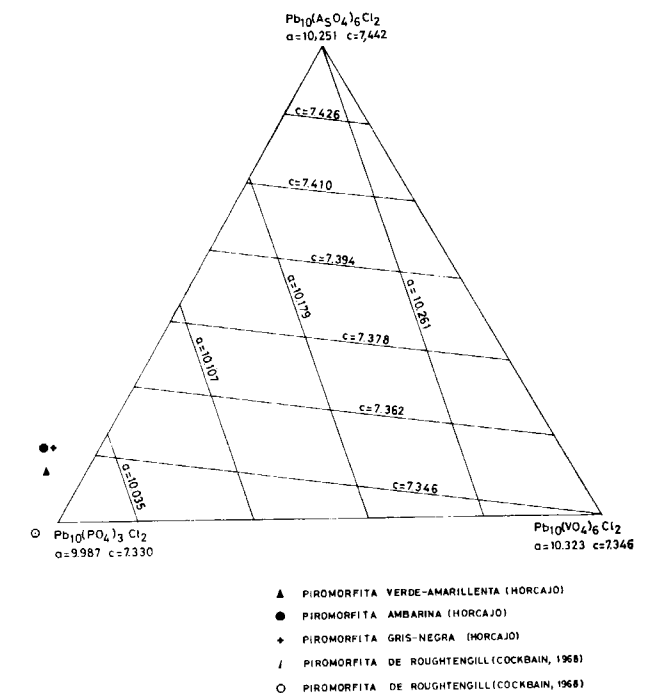


Figura 3

Diagrama triangular de los valores a y c para la serie piromorfita-vanadinita-mimetita

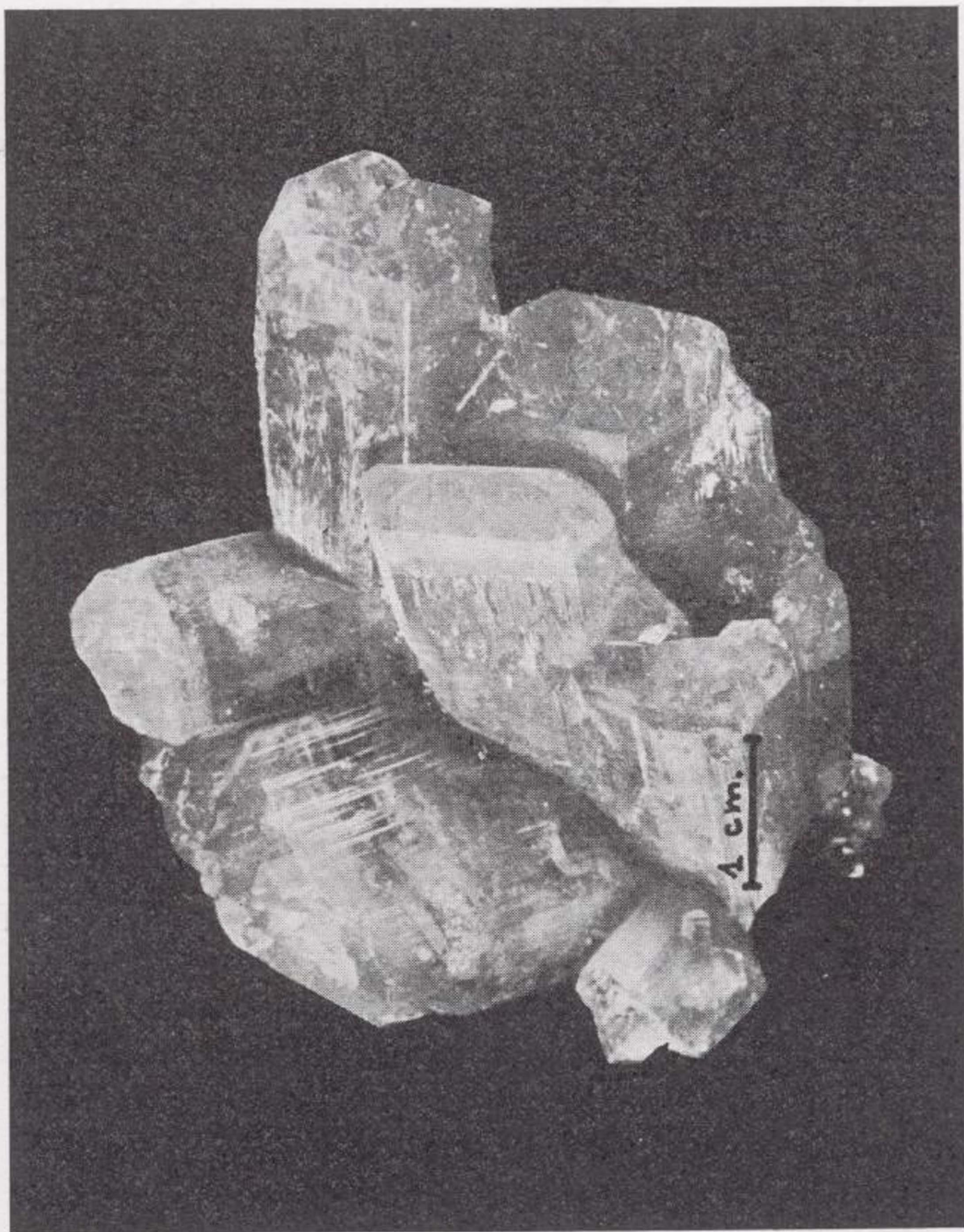


Figura 1

Cristales de piromorfita verde-amarillenta (Horcajo)

TABLA III

Espaciados e intensidades de las líneas de difracción más importantes de la piromorfita

hkl	Piromorfita de Horcajo		Piromorfita sintética Baker (1966)		Piromorfita ASTM Ficha 8-103	
	d _{obs}	I/I ₀	d _{obs}	I/I ₀	d _{obs}	I/I ₀
110	4,99	8	4,994	8	—	—
200	4,32	27	4,326	20	4,31	60
111	4,13	45	4,132	45	4,09	90
201	3,72	2	3,726	2	—	—
002	3,66	8	3,668	7	3,63	20
102	3,37	30	3,377	27	3,34	60
210	3,27	25	3,271	36	3,24	60
211	2,99	75	2,985	100	2,95	100
112	2,95	100	2,959	100	—	—
300	2,88	40	2,885	60	2,86	60
220	2,49	2	2,497	2	—	—
212	2,44	1	2,440	1	—	—
302	2,26	4	2,266	6	2,25	5
113	2,19	14	2,195	16	2,18	20
400	2,16	5	2,162	7	2,14	10
222	2,06	27	2,063	34	2,05	80
312	2,00	17	2,007	18	1,991	40
320	1,98	7	1,983	9	—	—
213	1,95	23	1,957	21	1,941	70
321	1,91	17	1,915	23	1,899	50
410	1,88	18	1,886	21	—	—
402	1,86	25	1,861	26	1,847	70
004	1,83	6	1,833	9	1,816	10
114	—	—	1,721	1	—	—
313	—	—	1,711	1	—	—
204	1,68	2	1,688	2	—	—
412	1,67	4	1,678	4	1,669	10
420	1,66	5	1,633	8	—	—
214	1,59	7	1,599	6	1,616	10

TABLA IV

Salida del programa Celfit para el refinamiento de los parámetros de la piroformita verde-amarillenta

H	K	L	(1/D)**2 OBS	(1/D)**2 CALC	THETA OBS	THETA CALC	THETA DIFF
1	1	0	0,03999	0,04009	8,868	8,880	-0,012
2	0	0	0,05346	0,05346	10,259	10,267	-0,009
1	1	1	0,05860	0,05865	10,755	10,760	-0,005
2	0	1	0,07197	0,07201	11,935	11,939	-0,004
0	0	2	0,07416	0,07421	12,118	12,124	-0,006
1	0	2	0,08760	0,08759	13,189	13,188	0,001
2	1	0	0,09338	0,09355	13,625	13,638	-0,013
2	1	1	0,11173	0,11211	14,392	14,058	-0,026
1	1	2	0,11397	0,11432	15,085	15,109	-0,024
3	0	0	0,11995	0,12028	15,485	15,507	-0,022
2	2	0	0,15982	0,16037	17,850	17,982	-0,032
2	1	2	0,16739	0,16778	18,385	18,407	-0,022
3	0	2	0,19453	0,19451	19,860	19,859	0,001
1	1	3	0,20711	0,20711	20,520	20,520	0,000
1	1	3	0,20704	0,20711	20,570	20,573	-0,003
4	0	0	0,21362	0,21363	20,855	20,866	-0,011
4	0	0	0,21354	0,21383	20,905	20,920	-0,015
2	2	2	0,23449	0,23460	21,900	21,905	-0,005
2	2	2	0,23434	0,23460	21,950	21,963	-0,013
3	1	2	0,24800	0,24796	22,615	22,613	0,002
3	2	0	0,25269	0,25292	22,780	22,838	-0,058
2	1	3	0,26070	0,26056	23,159	23,152	0,007
2	1	3	0,26053	0,26056	23,212	23,214	-0,002
3	2	1	0,27221	0,27248	23,695	23,707	-0,012
3	2	1	0,27215	0,27248	23,755	23,770	-0,015

TABLA IV (continuación)

H	K	L	(1/D)**2 OBS	(1/D)**2 CALC	THETA OBS	THETA CALC	THETA DIFF
4	1	0	0,28038	0,28065	24,070	24,082	-0,012
4	1	0	0,28029	0,28065	24,130	24,146	-0,016
4	0	2	0,28787	0,28806	24,410	24,419	-0,009
4	0	2	0,28787	0,28806	24,475	24,484	-0,009
0	0	4	0,29711	0,29692	24,825	24,816	0,009
0	0	4	0,29698	0,29692	24,885	24,882	0,003
1	1	4	0,33699	0,33701	26,560	26,561	-0,001
2	0	4	0,35050	0,35037	27,130	27,125	0,005
2	0	4	0,35042	0,35037	27,200	27,198	0,002
4	1	2	0,35460	0,35488	27,375	27,387	-0,012
4	2	0	0,37484	0,37420	28,137	28,111	0,026
3	3	1	0,37908	0,37939	28,310	28,323	-0,013
3	3	1	0,37891	0,37939	28,380	28,400	-0,020
2	1	4	0,39057	0,39047	28,775	28,771	0,004
2	1	4	0,39048	0,39047	28,850	28,849	0,001
5	0	2	0,40805	0,40834	29,474	29,485	-0,011
5	1	0	0,41376	0,41429	29,700	29,721	-0,021
3	0	4	0,41706	0,41719	29,830	29,835	-0,005
3	0	4	0,41706	0,41719	29,912	29,917	-0,005
3	2	3	0,42062	0,42094	29,970	29,983	-0,013
3	2	3	0,42068	0,42094	30,055	30,065	-0,010
5	1	1	0,43238	0,43285	30,430	30,448	-0,018
4	0	4	0,51076	0,51074	33,400	33,399	0,001
4	0	4	0,51065	0,51074	33,490	33,493	-0,003
5	2	0	0,52066	0,52121	33,765	33,785	-0,020
3	3	3	0,52739	0,52785	34,012	34,029	-0,017
3	3	3	0,52757	0,52785	34,115	34,126	-0,011
5	2	1	0,53924	0,53977	34,445	34,464	-0,019
4	2	3	0,53924	0,54122	34,445	34,517	-0,072
3	2	4	0,55093	0,55084	34,870	34,867	0,003
3	2	4	0,55108	0,55084	34,975	34,966	0,009
6	0	2	0,55508	0,55534	35,020	35,030	-0,010
2	1	5	0,55757	0,55748	35,110	35,107	0,003
2	1	5	0,55755	0,55748	35,210	35,207	0,003
4	3	2	0,56811	0,56871	35,490	35,512	-0,022
4	3	2	0,56792	0,56871	35,585	35,614	-0,029
4	1	4	0,57731	0,57757	35,820	35,829	-0,009
4	1	4	0,57777	0,57757	35,940	35,933	0,007
5	1	3	0,58374	0,58131	36,050	35,963	0,087
6	1	1	0,59299	0,59322	36,380	36,388	-0,008
5	2	2	0,59482	0,59544	36,445	36,467	-0,022
5	2	2	0,59480	0,59544	36,550	36,573	-0,023
4	4	0	0,64074	0,64149	38,065	38,091	-0,026
3	1	2	0,24788	0,24796	22,550	22,554	-0,004
3	3	2	0,43462	0,43507	30,517	30,534	-0,017
4	1	2	0,35457	0,35488	27,300	27,313	-0,013
4	4	0	0,64054	0,64149	38,170	38,203	-0,033
4	2	4	0,67071	0,67112	39,110	39,124	-0,014
4	2	4	0,67082	0,67112	39,230	39,240	-0,010
5	2	3	0,68874	0,68822	39,700	39,717	-0,017
5	2	3	0,68749	0,68822	39,810	39,836	-0,026
6	2	0	0,69439	0,69494	39,930	39,949	-0,019
1	1	6	0,70802	0,70815	40,400	40,404	-0,004
1	1	6	0,70783	0,70815	40,515	40,526	-0,011
4	4	2	0,71776	0,71572	40,735	40,665	0,070
4	4	2	0,71781	0,71572	40,860	40,788	0,072
3	2	5	0,71776	0,71785	40,735	40,738	-0,003
3	2	5	0,71781	0,71785	40,860	40,861	-0,001
7	0	2	0,72868	0,72908	41,110	41,124	-0,014
7	0	2	0,72860	0,72908	41,232	41,249	-0,017
5	3	2	0,72868	0,72908	41,110	41,124	-0,014
5	3	2	0,72860	0,72908	41,232	41,249	-0,017
2	1	6	0,76096	0,76161	42,215	42,237	-0,022
2	1	6	0,76083	0,76161	42,340	42,367	-0,027
2	2	6	0,82865	0,82843	44,520	44,513	0,007
2	2	6	0,82863	0,82843	44,660	44,653	0,007
6	3	0	0,84159	0,84195	44,960	44,972	-0,012
3	1	6	0,84159	0,84180	44,960	44,967	-0,007

TABLA V

Salida del programa Celfit para el refinamiento de los parámetros a y c de la piromorfita ambarina

H	K	L	(1/D)**2 OBS	(1/D)**2 CALC	THETA OBS	THETA CALC	THETA DIFF
1	1	0	0,03987	0,04005	8,855	8,875	-0,020
2	0	0	0,05328	0,05341	10,250	10,262	-0,012
1	1	1	0,05834	0,05858	10,731	10,754	-0,023
2	0	1	0,07179	0,07194	11,920	11,933	-0,013
0	0	2	0,07406	0,07412	12,110	12,115	-0,005
1	0	2	0,08729	0,08747	13,165	13,179	-0,014
2	1	0	0,09327	0,09346	13,617	13,631	-0,014
2	1	1	0,11162	0,11199	14,925	14,950	-0,025
1	1	2	0,11383	0,11418	15,075	15,099	-0,024
3	0	0	0,11987	0,12016	15,480	15,499	-0,019
2	2	0	0,16017	0,16022	17,970	17,973	-0,003
2	1	2	0,16731	0,16758	18,380	18,396	-0,016
3	0	2	0,19402	0,19429	19,850	19,864	-0,014
1	1	3	0,20690	0,20683	20,509	20,506	0,003
1	1	3	0,20675	0,20683	20,555	20,559	-0,004
4	0	0	0,21362	0,21362	20,855	20,855	0,000
4	0	0	0,21348	0,21362	20,902	20,909	-0,007
2	2	2	0,23419	0,23434	21,885	21,893	-0,008
2	2	2	0,23414	0,23434	21,940	21,950	-0,010
3	1	2	0,24778	0,24769	22,545	22,541	0,004
3	1	2	0,24738	0,24769	22,585	22,600	-0,015
3	2	0	0,25385	0,25368	22,835	22,827	0,008
3	2	0	0,25353	0,25368	22,880	22,887	-0,007
2	1	3	0,26030	0,26024	23,140	23,137	0,003
2	1	3	0,26017	0,26024	23,195	23,198	-0,003
3	2	1	0,27232	0,27221	23,700	23,695	0,005
3	2	1	0,27204	0,27221	23,750	23,758	-0,008
4	1	0	0,28060	0,28038	24,080	24,070	0,010
4	1	0	0,28018	0,28038	24,125	24,134	-0,009
4	0	2	0,28769	0,28774	24,402	24,405	-0,003
4	0	2	0,28732	0,28774	24,450	24,469	-0,019
0	0	4	0,29689	0,29649	24,815	24,797	0,018
0	0	4	0,29664	0,29649	24,870	24,863	0,007
4	1	2	0,35457	0,35450	27,300	27,297	0,003
4	1	2	0,35448	0,35450	27,370	27,371	-0,001
4	2	0	0,37394	0,37384	28,100	28,096	0,004
4	2	0	0,37352	0,37384	28,159	28,172	-0,013
3	3	1	0,37945	0,37902	28,325	28,307	0,018
3	3	1	0,37869	0,37902	28,371	28,384	-0,013
2	1	4	0,39032	0,38995	28,765	28,750	0,015
2	1	4	0,38999	0,38995	28,830	28,829	0,001
5	0	2	0,40820	0,40791	29,480	29,468	0,012
5	0	2	0,40793	0,40791	29,550	29,549	0,001
3	0	4	0,41681	0,41666	29,820	29,814	0,006
3	0	4	0,41650	0,41666	29,890	29,896	-0,006
3	2	3	0,42062	0,42045	29,970	29,963	0,007
5	1	1	0,43277	0,43242	30,445	30,431	0,014
3	3	2	0,43483	0,43461	30,525	30,517	0,008
3	3	2	0,43459	0,43461	30,600	30,601	-0,001
4	0	4	0,50974	0,51011	33,362	33,376	-0,014
5	2	0	0,52134	0,52070	33,790	33,767	0,023
3	3	3	0,52761	0,52726	34,020	34,007	0,013
3	3	3	0,52716	0,52726	34,100	34,104	-0,004
5	2	1	0,53965	0,53923	34,445	34,445	0,015
5	2	1	0,53956	0,53923	34,555	34,543	0,012
4	2	3	0,53965	0,54061	34,460	34,495	-0,035
4	2	3	0,53956	0,54061	34,555	34,593	-0,038
3	2	4	0,55066	0,55017	34,860	34,842	0,018
6	0	2	0,55527	0,55477	35,027	35,009	0,018
2	1	5	0,55701	0,55673	35,090	35,080	0,010
4	3	2	0,56853	0,56812	35,505	35,490	0,015
4	1	4	0,57700	0,57687	35,809	35,804	0,005
4	1	4	0,57611	0,57687	35,880	35,908	-0,028
5	1	3	0,58052	0,58067	35,935	35,940	-0,005
5	1	3	0,58056	0,58067	36,040	36,044	-0,004
5	2	2	0,59524	0,59483	36,460	36,445	0,015
5	2	2	0,59466	0,59483	36,545	36,551	-0,006
4	4	0	0,64117	0,64086	38,080	38,069	0,011
4	4	0	0,64026	0,64086	38,160	38,181	-0,021
4	2	4	0,67085	0,67033	39,115	39,097	0,018
4	2	4	0,67045	0,67033	39,217	39,213	0,004
5	2	3	0,68788	0,68748	39,705	39,691	0,014
5	2	3	0,68734	0,68748	39,805	39,810	-0,005

TABLA VI

Salida del programa Celfit para el refinamiento de los parámetros de la piromorfita gris-negra

H	K	L	(1/D)**2 OBS	(1/D)**2 CALC	THETA OBS	THETA CALC	THETA DIFF
1	1	0	0,03974	0,04000	8,840	8,869	-0,029
2	0	0	0,05314	0,05333	10,236	10,255	-0,019
1	1	1	0,05838	0,05853	10,735	10,749	-0,014
2	0	1	0,07161	0,07187	11,905	11,927	-0,022
0	0	2	0,07382	0,07413	12,090	12,116	-0,026
1	0	2	0,08722	0,08747	13,160	13,179	-0,019
2	1	0	0,09314	0,09333	13,607	13,622	-0,015
2	1	1	0,11148	0,11187	14,915	14,942	-0,027
1	1	2	0,11375	0,11413	15,070	15,096	-0,026
3	0	0	0,11987	0,12000	15,480	15,488	-0,008
2	2	0	0,15965	0,16000	17,940	17,960	-0,020
2	1	2	0,16704	0,16747	18,365	18,389	-0,024
3	0	2	0,19364	0,19413	19,830	19,856	-0,026
1	1	3	0,20619	0,20680	20,490	20,522	-0,032
4	0	0	0,21292	0,21333	20,837	20,858	-0,021
2	2	2	0,23384	0,23413	21,887	21,902	-0,015
3	1	2	0,24749	0,24747	22,531	22,530	0,001
3	1	2	0,24742	0,24747	22,587	22,589	-0,002
3	2	0	0,25337	0,25333	22,812	22,811	0,001
3	2	0	0,25315	0,25333	22,862	22,871	-0,009
2	1	3	0,26009	0,26013	23,130	23,132	-0,002
2	1	3	0,25996	0,26013	23,185	23,193	-0,008
3	2	1	0,27188	0,27187	23,680	23,679	0,001
3	2	1	0,27161	0,27187	23,730	23,742	-0,012
4	1	0	0,28020	0,28000	24,062	24,053	0,009
4	1	0	0,27990	0,28000	24,112	24,117	-0,005
4	0	2	0,28742	0,28747	24,390	24,392	-0,002
4	0	2	0,28710	0,28747	24,440	24,457	-0,017
0	0	4	0,29666	0,29653	24,805	24,799	0,006
0	0	4	0,29631	0,29653	24,855	24,865	-0,010
2	0	4	0,34995	0,34986	27,107	27,103	0,004
4	1	2	0,34983	0,34986	27,175	27,176	-0,001
4	1	2	0,35426	0,35413	27,287	27,282	0,005
4	2	0	0,37362	0,37334	28,087	28,075	0,012
4	2	0	0,37352	0,37334	28,159	28,152	0,007
3	3	1	0,37884	0,37853	28,300	28,288	0,012
3	3	1	0,37855	0,37853	28,365	28,364	0,001
2	1	4	0,39012	0,38986	28,757	28,747	0,010
2	1	4	0,39011	0,38986	28,835	28,825	0,010
5	0	2	0,40745	0,40747	29,450	29,451	0,001
5	0	2	0,40731	0,40745	29,525	29,531	-0,006
5	1	0	0,41356	0,41334	29,692	29,683	0,009
3	0	4	0,41655	0,41653	29,810	29,809	0,001
3	0	4	0,41663	0,41653	29,895	29,891	0,004
3	2	3	0,42011	0,42013	29,950	29,951	-0,001
3	2	3	0,41992	0,42013	30,025	30,033	-0,008
5	1	1	0,43226	0,43187	30,425	30,410	0,015
3	3	2	0,43424	0,43413	30,502	30,498	0,004
3	3	2	0,43395	0,43413	30,575	30,582	-0,007
4	0	4	0,51036	0,50986	33,385	33,367	0,018
3	3	3	0,52739	0,52680	34,012	33,990	0,022
3	3	3	0,52680	0,52680	34,087	34,087	0,000
5	2	1	0,53882	0,53854	34,430	34,420	0,010
5	2	1	0,53874	0,53854	34,525	34,517	0,008
4	2	3	0,53882	0,54013	34,430	34,478	-0,048
5	2	1	0,53874	0,54013	34,525	34,576	-0,051
2	1	5	0,55452	0,55413	35,000	34,986	0,014
2	1	5	0,55693	0,55666	35,087	35,077	0,010
2	1	5	0,55673	0,55666	35,180	35,178	0,002
4	3	2	0,56803	0,56747	35,487	35,467	0,020
4	1	4	0,57703	0,57653	35,810	35,792	0,018
5	1	3	0,58010	0,58013	35,920	35,921	-0,001
5	2	2	0,59459	0,59413	36,437	36,421	0,016
4	4	0	0,64028	0,64000	38,049	38,039	0,010
4	4	0	0,63974	0,64000	38,142	38,151	-0,009
4	2	4	0,67060	0,66986	39,106	39,081	0,025
5	2	3	0,68736	0,68680	39,687	39,668	0,019
5	2	3	0,68720	0,68680	39,800	39,786	0,014
1	1	6	0,70765	0,70719	40,387	40,371	0,016
5	3	2	0,72781	0,72747	41,080	41,068	0,012
2	1	6	0,76053	0,76052	42,200	42,200	0,000
2	1	6	0,76039	0,76052	42,325	42,329	-0,004

TABLA VII

Parámetros de la celdilla unidad, de los tres tipos de cristales de la piromorfita de Horcajo

	1	2	3
a	9,9884	9,9933	10,0000
c	7,3408	7,3461	7,3457
R.a	0,0041	0,0032	0,0038
R.c	0,0010	0,0011	0,0010
V ₁	0,63426 · 10 ³	0,63533 · 10 ³	0,63615 · 10 ³

1, piromorfita verde amarillenta; 2, piromorfita ambarina; 3, piromorfita gris-negro; R, a, R, c, desviaciones estándar para a, y c; V₁, volumen de la celdilla unidad.

TABLA VIII

Frecuencias de vibración para los grupos (XO₄)³⁻ en piromorfita, mimetita y vanadinita

Tide de vibración	(PO ₄) ³⁻ en piromorfita Adler (1968)		(AsO ₄) ³⁻ en mimetita Adler (1968)		(VO ₄) ³⁻ en vanadinita Adler (1968)		(PO ₄) ³⁻ piromorfita verde amarillenta (Horcajo)		(PO ₄) ³⁻ piromorfita ambarina (Horcajo)		(PO ₄) ³⁻ piromorfita gris-negra (Horcajo)	
ν ₁ . (cm ⁻¹)	1026	967	815	803 783	800	736	1025	965	1024	980	1024	980
ν ₂ . (cm ⁻¹)		922	no detectada		no detectada			925		924		924
ν ₃ . (cm ⁻¹)	570	539	415	385	415	370 315	570	540	570	540	570	540
ν ₄ . (cm ⁻¹)							244		244		250	

metálicos o de cloro por grupos OH, que, como se dijo anteriormente, son frecuentes en este tipo de minerales.

ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO

En la figura 4 se muestran los espectros de infrarrojo, obtenidos empleando como soporte BrK, pertenecientes a los tres tipos de cristales encontrados en Horcajo. Como puede observarse, la semejanza entre ellos es notable, hecho que confirma los resultados de difracción de rayos X.

En la tabla VIII se exponen los valores de las frecuencias de vibración para piromorfita, mimetita y vanadinita de muestras estudiadas por Adler (1968), comparadas con las de las piromorfitas de Horcajo.

De la comparación de los espectros de infrarrojo de la figura 4 con los obtenidos por Adler (fig. 5), así como los valores expuestos en la tabla VIII, se deduce que en las piromorfitas de Horcajo la sustitución de (PO₄)³⁻ por (AsO₄)³⁻ o (VO₄)³⁻ es prácticamente nula, no apareciendo en ninguno de los tres casos las bandas correspondientes a los dos

últimos grupos, sobre todo en el caso de la piromorfita verde. Por lo tanto, la espectroscopía de infrarrojos viene a confirmar la pureza de las especies presentes en el yacimiento de Horcajo.

ANALISIS TERMICO

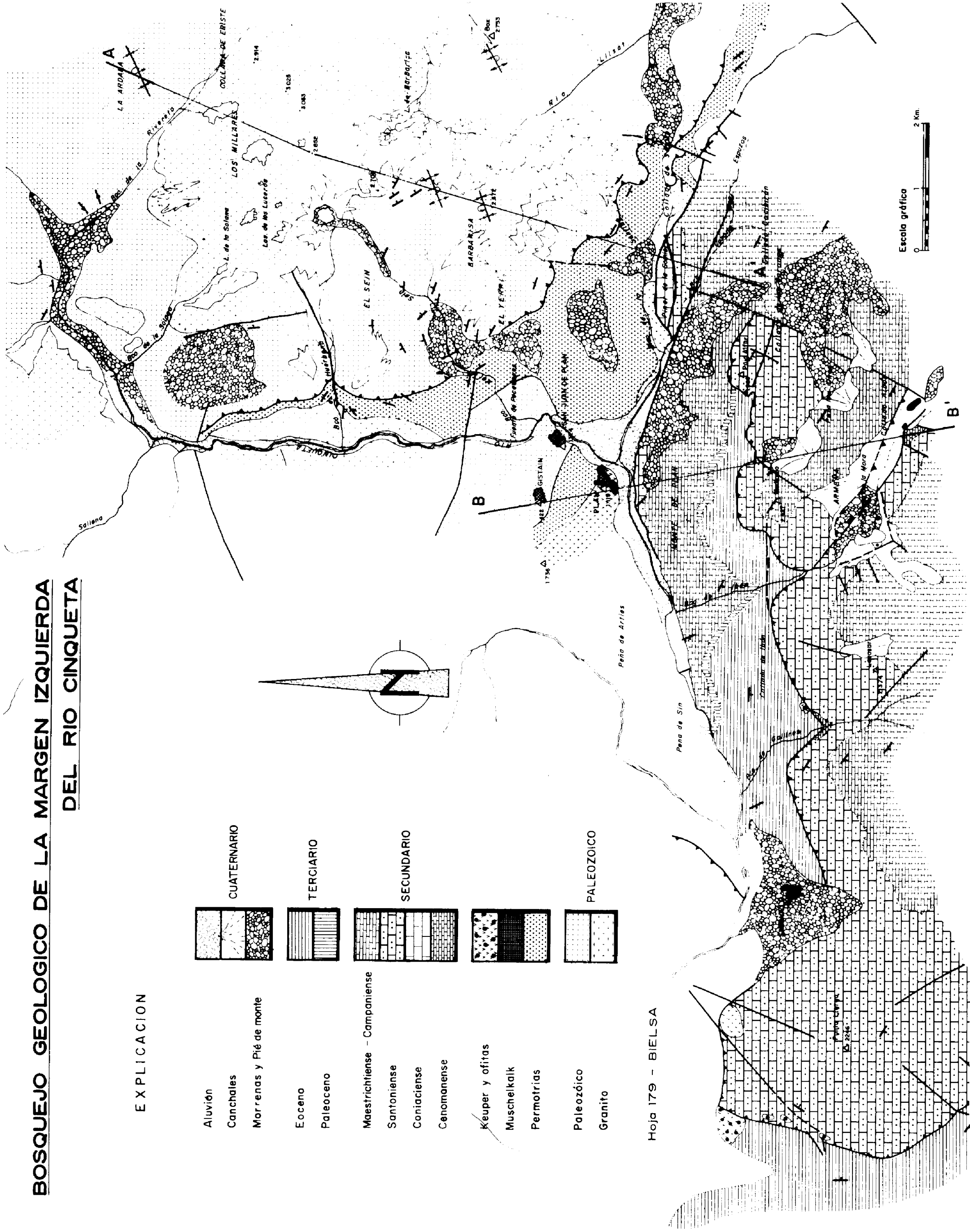
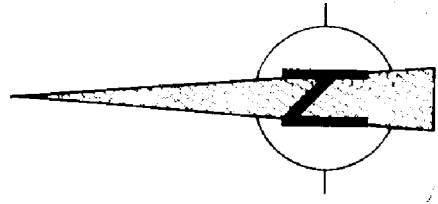
Los únicos datos existentes en la bibliografía sobre descomposición térmica de la piromorfita son los que aparecen en la ficha SCIFAX (Vertushkov y Sokilov, 1958), dichos autores afirman la existencia de un efecto endotérmico, moderadamente acusado, hacia los 150° C, al que siguen otros dos, también endotérmicos, a 800° C y a 875° C, respectivamente, siendo este último el más fuerte de todos.

El diagrama de ATD realizado a una velocidad de calentamiento de 20° C por minuto, sobre la variedad verde-amarillenta de Horcajo (por considerar esta la más representativa del yacimiento), se recoge en la figura 6. Como puede observarse, no presenta ningún efecto hasta los 600° C. A partir de esta temperatura comienza un pico endotérmico, fuertemente asimétrico y muy agudo, con su

BOSQUEJO GEOLOGICO DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO CINQUETA

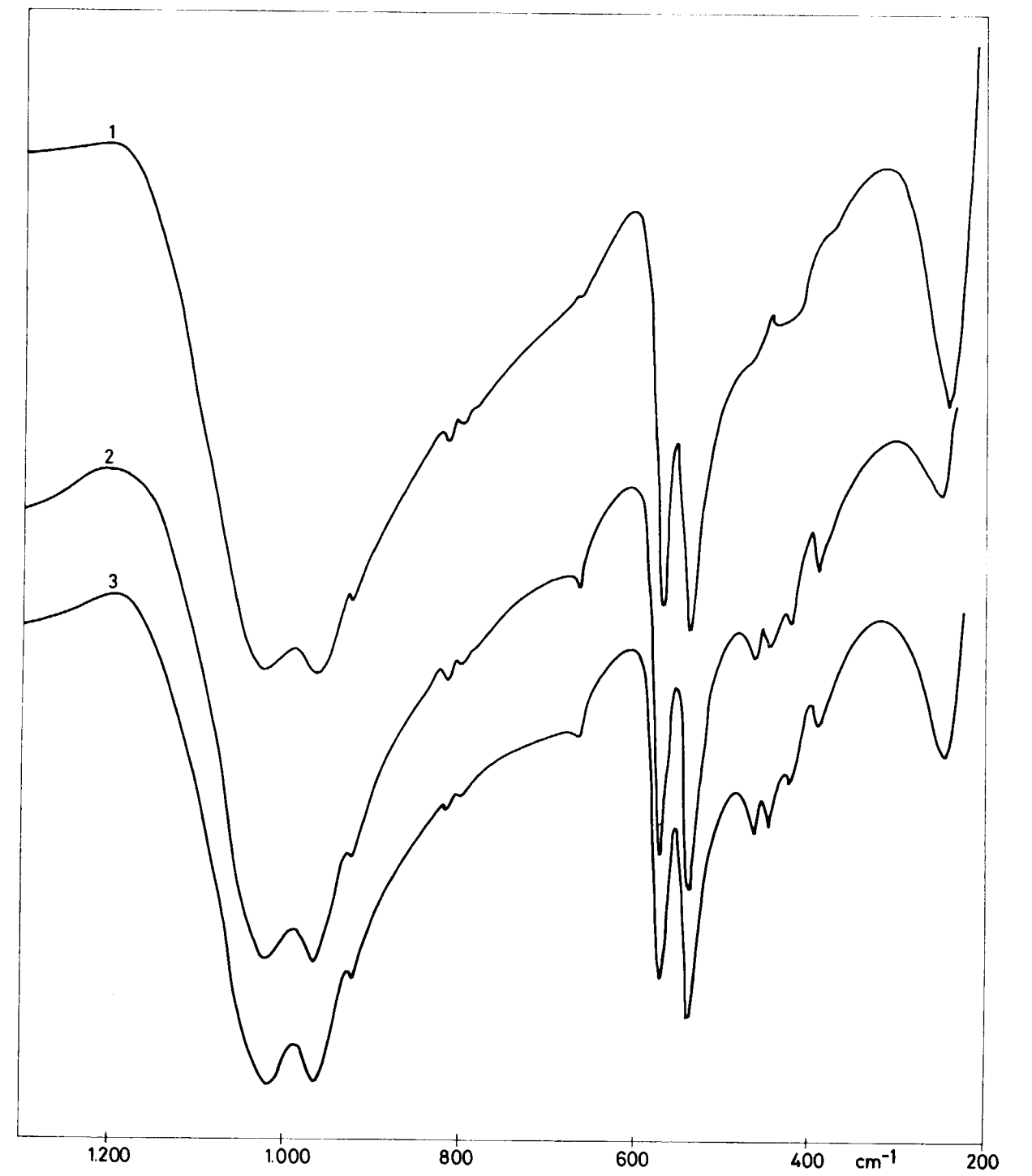
EXPLICACION

CUATERNARIO	
Aluvi6n	
Canchales	
Marrenas y Pl6 de monte	
TERCIARIO	
Eoceno	
Paleoceno	
SECUNDARIO	
Maestrichtiense - Campaniense	
Santonienense	
Coniaciense	
Cenomanense	
PALEOZOICO	
Keuper y ofitas	
Muschelkalk	
Permotrias	
Paleoz6ico	
Granito	



Hoja 179 - BIELSA

Escala gr6fica
0 1 2 Km.



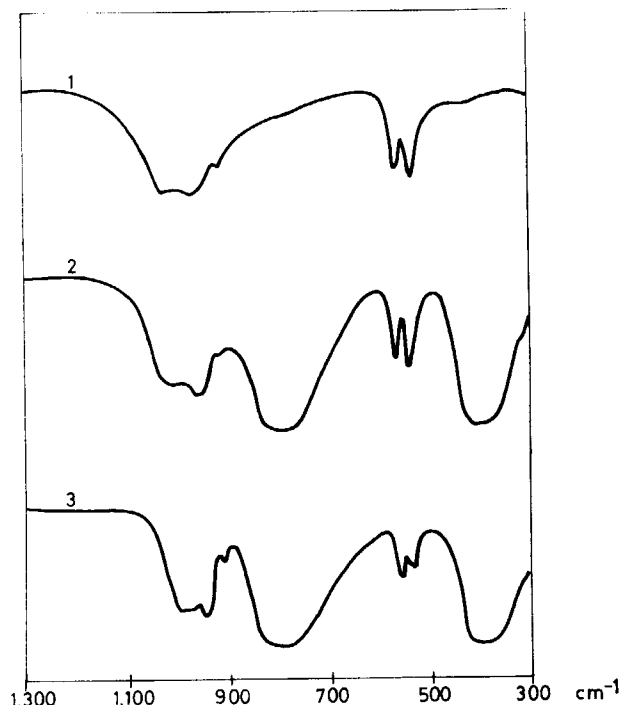
- 1.-PIROMORFITA VERDE-AMARILLENTO (HORCAJO)
- 2.-PIROMORFITA AMBARINA (HORCAJO)
- 3.-PIROMORFITA GRIS-NEGRA (HORCAJO)

Figura 4

Espectros de infrarrojo de los tres tipos de cristales de Horcajo

máximo a 1073° C, que pensamos debe corresponder a la fusión del mineral.

Para establecer con más exactitud el proceso de descomposición, realizamos una serie de diagramas



1.-PIROMORFITA, PHEEMIXVILLE
2.-80% MIMETITA, CHIHUAHUA, MEX
20% PIROMORFITA, PHEEMIXVILLE
3.-MIMETITA, CUMBERLAND
Figura 5

Espectros de infrarrojo de piromorfita, mimetita y vadinita (Adler, 1968)

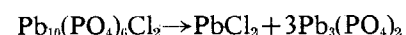
de difracción de rayos X en cámara de alta temperatura, cuyos resultados se resumen en la tabla IX. Como puede observarse en la tabla citada, no existen diferencias notables entre los distintos difractogramas obtenidos a temperaturas inferiores a los 1000° C, únicamente se aprecia un aumento de los espaciados y una variación en las intensidades relativas, debido a la dilatación de la red al ser sometida a una elevación gradual de la temperatura.

A partir de los 1000° C sólo aparecen en el diagrama las reflexiones correspondientes al Pt del portamuestras, lo que indica que a dicha temperatura la red se destruye totalmente y queda una sustancia completamente amorfa, el líquido resultante de la fusión del mineral.

El diagrama de difracción realizado sobre el producto calentado a 1000° C y enfriado lentamente presentó de nuevo las líneas de piromorfita.

La termogravimetría, realizada sobre la misma muestra y en idénticas condiciones a las del ATD, presenta una inflexión de pendiente suave que comienza a los 500° C, transformándose en un brusco escalón a mayor temperatura, con máxima pérdida de peso a 1050° C (Fig. 6).

La pérdida total calculada a partir del diagrama, es del 2,46 por 10, pérdida que debe ser producida por desprendimiento del Cl_2 Pb, según la siguiente reacción (SMITH, O. C., 1953):



La pérdida teórica correspondiente a esta reacción representa un 10,25 por 100, valor muy diferente del obtenido experimentalmente. La cantidad de cloro correspondiente a una pérdida del 2,4 por 100 en Cl_2 Pb es de un 0,58 por 100. El exceso de cargas positivas debe ser compensado por grupos (OH). Un estudio más detallado será realizado en breve en un futuro trabajo.

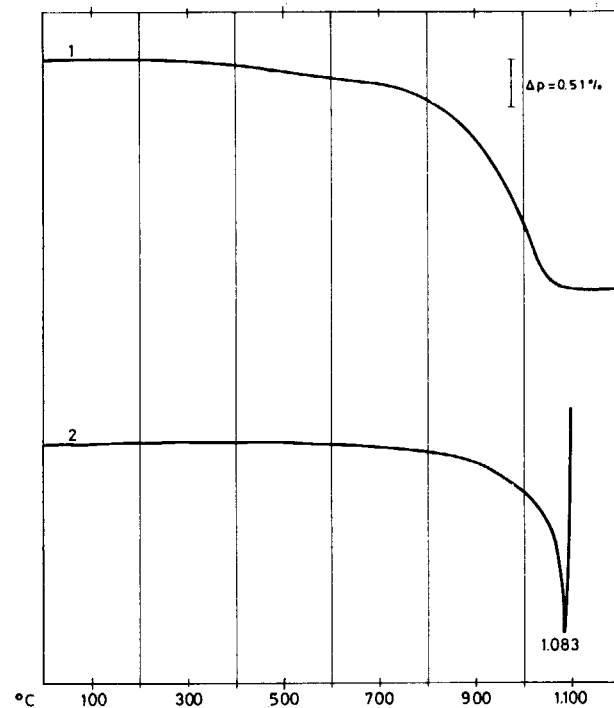


Figura 6

Curvas de TG y ATD de la piromorfita verde amarillenta de Horcajo

TABLA IX

Espaciados e intensidades de las líneas de difracción de la piromorfita calentada a diferentes temperaturas

T. ambiente		180° C		600° C		800° C		900° C		1.000° C	
d	I _r	d	I _r	d	I _r	d	I _r	d	I _r	d	I _r
4,32	27	4,33	7	4,34	7	4,39	25	4,39	10		
4,13	45	4,15	20	4,16	15	4,18	30	4,18	25		
3,37	30	3,39	15	3,42	10	3,43	22	3,43	25		
3,27	25	3,27	25	3,29	20	3,29	25	3,31	15		
2,99	75	3,00	100	3,01	100	3,02	100	3,03	70		
2,95	100	2,96	70	2,99	85	3,00	95	3,01	100		
2,88	40	2,89	22	2,90	30	2,90	40	2,91	20		
2,26	4	2,27	10	2,29	8	2,30	8	2,29	10	2,26 *	100
2,19	14	2,20	12	2,22	10	2,23	20	2,23	20		
2,06	27	2,06	55	2,08	20	2,09	40	2,09	30		
2,00	17	2,01	20	2,02	20	2,03	33	2,03	45		
1,95	23	1,46	35	1,97	33	1,98	35	1,99	40	1,96 *	50
1,91	17	1,91	30	1,92	35	1,93	40	1,93	20		
1,88	18	1,89	20	1,90	20	1,90	35	1,90	18		
1,86	25	1,86	30	1,87	25	1,88	43	1,88	20		
1,83	6	1,83	18	1,85	15	1,86	20	—	—	1,38 *	31
										1,18 *	33

* Líneas del Pt.

ANÁLISIS QUÍMICO Y FLUORESCENCIA DE RAYOS X

El análisis químico realizado sobre cristales de la variedad verde-amarillenta, ha dado los siguientes valores: FeO=0,19; CaO=0,56; P₂O₅=15,77; Cl=0,58 (deducido por TG) y PbO=82 (suma=99,10).

El estudio espectrométrico por fluorescencia de rayos X ha puesto de manifiesto que el elemento mayoritario es como era de suponer, el Pb, acompañado éste de: Sb, Fe, Ca y As.

Agradecimiento.—Agradecemos a don Fermín Menéndez la colaboración prestada en la ejecución del programa Celfit, así como al Prof. Dr. don José María Serratos del Instituto de Edafología del C.S.I.C. su ayuda y colaboración en la ejecución y discusión de la espectroscopia de infrarrojo.

BIBLIOGRAFIA

ADLER, H.: *Infrared spectra of phosphate minerals: splitting and frequency shifts associated with substitution*

of PO_4^{3-} for AsO_4^{3-} in mimetite $\text{Pb}_3(\text{As}_3)\text{Cl}$. "Amer. Min.", vol. 53, 1740-1744 (1968).

BAKER, W. E.: *An X-ray diffraction study of synthetic members of the pyromorphite series.* "Amer. Min.", vol. 51, 1712-1721 (1966).

BRACHER, B. H.: *CELFI. A computer program to refine crystal unit dimensions.* "Ceramics, Division, Atomic Energy Research", Establishment. Harwell (1967).

CALDERÓN, S.: *Los minerales de España*, tomo II, Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid (1910).

COCKBAIN, A. G.: *Lead apatite solid-solution series.* "Min. Magz.", vol. 36, 1171-1173 (1968).

PARDILLO, F., y GIL, F.: *Piromorfita de Horcajo (Ciudad Real).* "Mem. R. Soc. Esp. Hist. Nat", tomo X, Mem. 6, 311-340, 5 lám. (1916).

SMITH, C. O.: *Identification and quantitative chemical analysis of minerals.* Ed. a Van Nostrand, Company. London (1953).

VERTUSHKOV y SOKILOV: "Zap. Vsesoyuz. Miner. Obshch", vol. 87, 96 (cita tomada de SCIFAX), Dif. Therm. Anal. Data Index. Compiled by R. C. MacKenzie. Cleares-Hume Press, London (1958).

Recibido: Julio de 1973.

INFORMACION

Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XVIII Campamento para Prácticas de Geología "Benasque 1972"

Por F. Bodega, Dr. Ingeniero de Minas, B. Rojas, Dr. Ingeniero de Minas, E. Fernández Vargas, Licenciado en Ciencias Geológicas.

1. INTRODUCCION

Durante los días 5 al 22 de julio de 1972, se ha desarrollado el XVIII Campamento para Prácticas de Geología, organizado por la Cátedra de Geología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, y la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A., y bajo la dirección del profesor don José María Ríos.

La base se cambió este año de Bielsa, donde se estableció los últimos años, a Benasque (Huesca), al resultar más cortas las distancias a las zonas de trabajo, desde el valle del río Esera.

Han asistido en total 18 participantes, de la siguiente procedencia: nueve alumnos de la Universidad de Madrid; dos, de la de Granada; uno, de la de Oviedo; dos, de la de Clausthal (Alemania); uno, de la de Bolonia (Italia); uno, de la de Minnesota (Estados Unidos); y dos, de la Escuela de Ingeniería Técnica Minera de Bélmez (Córdoba).

Como Codirector y Jefe del Campamento actuó Adriano García-Loygorri, Dr. Ingeniero de Minas, y, como instructores Fernando Bodega Barahona, Dr. Ingeniero de Minas, Baldomero Rojas Tapia, Dr. Ingeniero de Minas y Eugenio Fernández Vargas, Licenciado en Ciencias Geológicas; todos de la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.

Fue secretario del Campamento, al igual que otros años, Julián Vega Esteban, Ingeniero Técnico de Minas y Maestro de Laboratorio de la Cátedra de Geología de la Escuela.

2. DESARROLLO DEL CAMPAMENTO

Los objetivos marcados para este Campamento fueron completar los estudios del anterior, en la margen izquierda del Cinqueta, y ampliar los itinerarios hacia el Sur y hacia el Este, pretendiendo, como objetivo secun-

dario, la cartografía de las morrenas y laderas de derrubios, cuya importancia había resultado evidente durante la realización de los trabajos llevados a cabo en el XVII Campamento.

Para las excursiones de entrenamiento, se eligió el valle del Esera desde Benasque hasta Los Baños, pretendiendo reconocer en lo posible las formaciones paleozoicas cortadas por el curso del río, similares a las que afloran en la parte septentrional de la zona de estudio, así como las series secundarias y terciarias situadas aguas abajo de Seira.

También se dieron varias charlas geológicas en la escuela de Benasque, una de cuyas aulas fue cedida amablemente por uno de sus profesores, don José Pardo. Los temas desarrollados fueron, unos, relativos al Pirineo, y otros, a diversos temas geológico-mineros propuestos por los alumnos.

Distribuidos éstos en seis equipos, fueron agrupados de dos en dos, con las siguientes misiones: Equipos 1 y 2, estudio del Paleozoico y banda del Permotriás desde el Collado de Sahún hacia el Esera; equipos 3 y 4, contacto del Permotriás con el Paleozoico, tanto autóctono como alóctono, de la zona San Juan de Plan hasta el collado de Sahún; y, equipos 5 y 6, Secundario del área SE de la Hoja 179, Bielsa, objeto del estudio.

Los informes sobre estudios efectuados en las muestras recogidas han sido realizados por Luis Granados y Amparo de las Heras, Licenciados en Ciencias Geológicas, ambos de la Empresa Nacional Adaro.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

Se reflejan en el mapa que se incluye como resumen del trabajo, que recoge también los efectuados en los dos últimos campamentos pasados.

No entraremos aquí en la descripción geológica general del mapa, tratada ya en la Memoria correspondiente

al XVII Campamento de 1971 (Boletín Geológico y Minero, T. LXXXIII, V año 1972). Únicamente nos referiremos, en lo que sigue, a las cuestiones que llevan consigo alguna modificación de los resultados provisionales alcanzados en 1971, o que precisan aspectos concretos o no fijados en las anteriores campañas.

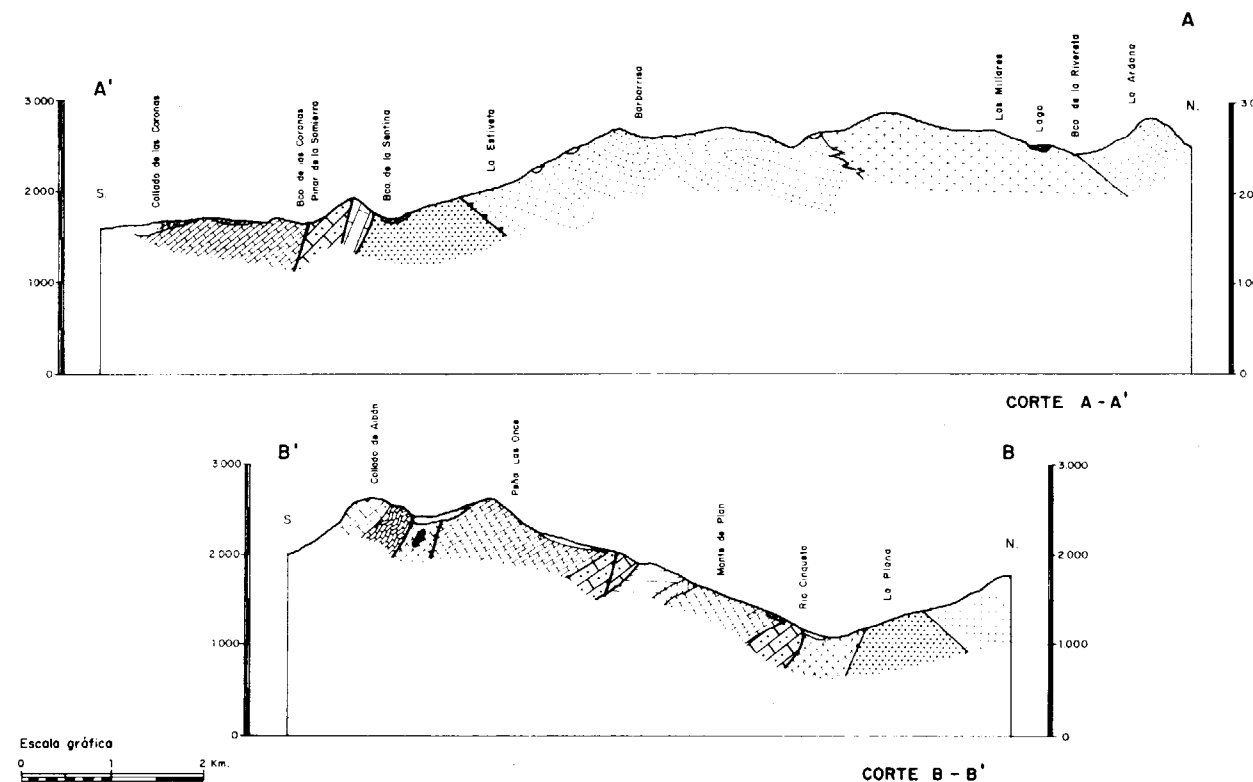
Por lo que se refiere al Paleozoico de la parte septentrional, se encontraba aún pendiente de completar el estudio del área de Barbarisa comprendida entre los barrancos del Sein y de la Sentina, y de establecer los límites de las formaciones devónicas, alóctona y autóctona, y permotriásicas.

El Devónico alóctono, que corta al río Cinqueta al

gues que la afectan, pero que se puede estimar en unos 300-400 metros y por unas areniscas de tonos grises claros, de unos 80-100 metros de espesor, que se hallan separadas de la anterior por un nivel de conglomerados silíceo.

A partir del arroyo de la Septina y sobre el paquete datado como Permotriásico, yacen las arcillas y margas yesíferas blancas y varioladas del Keuper, en el que han excavado sus cauces los barrancos de Foricón y el antes mencionado. No se ha podido medir su potencia en este lugar. El Keuper se extiende hasta su contacto con las calizas del Cretáceo, al Sur.

Cubriendo buena parte de las formaciones citadas, des-



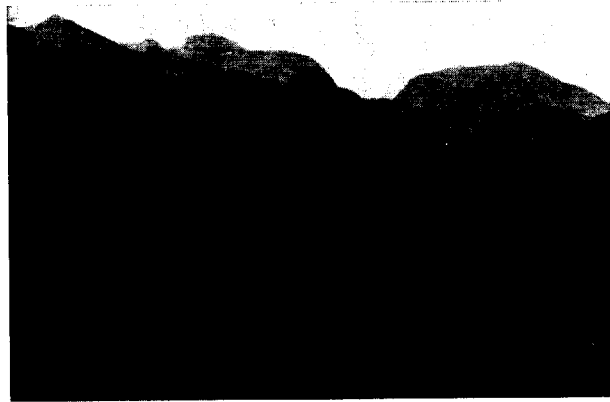
Oeste de los Plans de Lavet y corre hasta el collado de Sahún, cabalgando al Permotriás con buzamientos dirigidos hacia el Este y Norte, presenta, en lo alto del monte Barbarisa, unas pizarras oscuras con pátina rojiza, cuya potencia total no ha sido posible establecer, por faltar el techo de la formación. Debajo, topográficamente, aparece un tramo de unos 400-500 metros de espesor, constituido por materiales más o menos carbonatados con niveles pizarrosos interestratificados.

El Permotriás cabalgado, situado al Oeste del anterior, se halla formado de arriba hacia abajo, en lo que se ve, por una alternancia de margas y areniscas rojizas, cuya potencia se halla enmascarada por los replie-

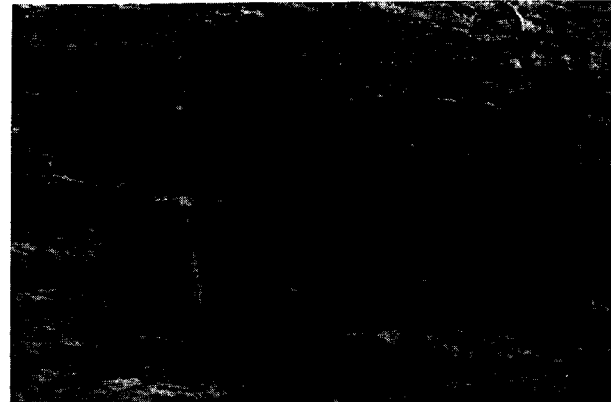
cansan los depósitos cuaternarios, morrénicos, fluvio-glaciares y de derrubios.

Por lo que se refiere a la zona postpaleozoica que figura en la mitad meridional del plano, se precisaron en lo posible, dado el abundante recubrimiento existente en las laderas, los límites de los diferentes pisos mesozoicos que aparecen fijados en el plano adjunto.

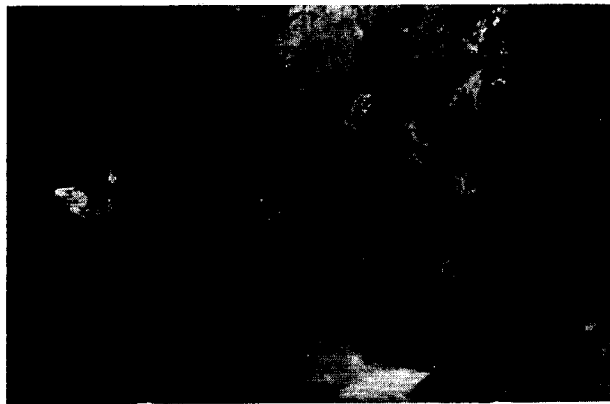
El accidente dominante en la zona estudiada es el cabalgamiento de Cotiella, que se extiende por el O. hasta Castillo Mayor, ya en la Hoja contigua, y por el E. hasta la zona que nos ocupa. Como ya se indicó anteriormente, consiste prácticamente en un cabalgamiento del Senonense sobre el Paleoceno, y si bien en rasgos generales



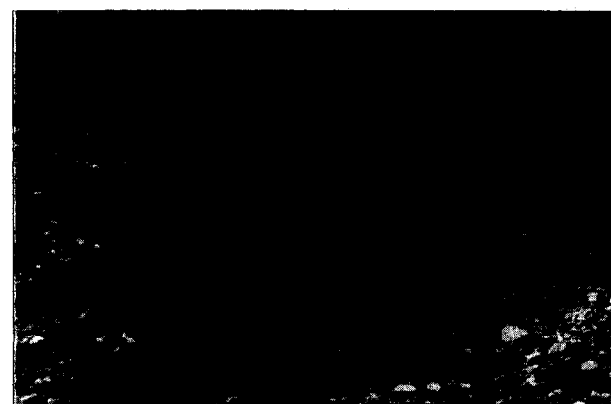
1. Morrena en la margen izquierda del barranco del Sein. Se ven los lavaderos destruidos de la antigua mina de Cobalto. Fot. hacia SO.



4. Calizas abudinadas en la margen izquierda del barranco Llisat en la bajada hacia Sahún. Paleozoico. Fot. hacia N.



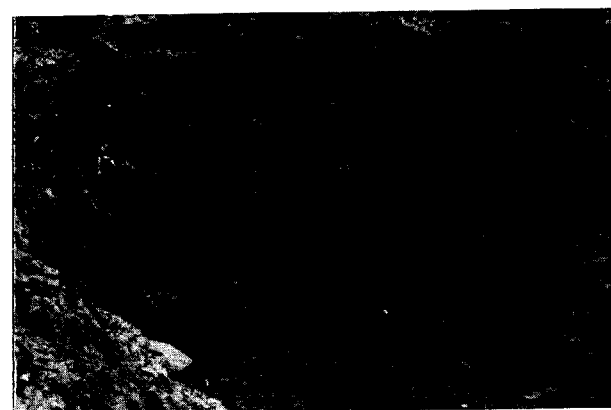
2. Permotrias a ambos lados del barranco del Sein, al final de la morrena anterior.



5. Pliegues volcados, transversales al sistema de grandes pliegues que se dan en el plano y corte. Margen derecha del barranco del Sein. Paleozoico. Fot. hacia N.



3. Pliegues y pizarrosidades en las calizas del Devoniano.



6. Pliegues volcados, transversales al sistema de grandes pliegues que se dan en el plano y corte. Margen derecha del barranco del Sein. Paleozoico. Fot. hacia N.

no presenta una gran complicación, la importancia del fenómeno provoca una serie de accidentes secundarios que complican bastante lo que pudiéramos llamar tectónica a pequeña escala; tales son los afloramientos triásicos que surgen a favor de las fracturas provocadas por el corrimiento. El más importante del frente norte de Cotiella es el del extremo oriental, que ocupa el circo donde se halla el ibón de la Vasa de la Mora y pasa por el collado de Aibón hacia el circo de Armeña, a diferencia de los situados más al O., que aflora a favor de fallas muy tendidas hacia el S. y con escaso desarrollo en superficie. Este surge a favor de dos fallas subverticales que dan lugar al collado de Aibón, que separa la cresta de Peña las Once-Mediodía de la del Pico Llosat, también llamado Punta Alta de Armeña, provocando en esta última un espectacular levantamiento de las capas de unos 60° a 65° al SO., mientras que al N., en la Peña de las Once, oscilan entre los 30° y 40°. Este levantamiento de Punta Alta se amortigua paulatinamente hacia el S. hacia Cotiella.

Otra característica peculiar de este Triásico es la presencia, al menos, de tres afloramientos de calizas de Muschelkalk: uno al E. de la Vasa de la Mora en una zona de pie de monte y, los otros dos, a ambos lados del collado de Aibón. Pese a la extensión relativamente grande que ocupa, los abundantes derrubios enmascaran

bastante el afloramiento, si bien el carácter yesífero del Keuper da un aspecto muy peculiar a las zonas de somero recubrimiento, donde se insinúan pequeñas torcas, en algunas de las cuales se pueden ver los típicos yesos rojizos y verdosos. Desde el collado de Aibón, parte una falla que parece ser la responsable de los afloramientos del Muschelkalk, y que, pasando a NE. de la Vasa de la Mora, corta las calizas santonienses de más al N, y acaba en el barranco del Ibón, contribuyendo a formar el fuerte escarpado que determina el cabalgamiento sobre las calizas paleocenas.

Limitando el cabalgamiento por el E., aparece una falla de dirección N25E a la que ya hemos hecho referencia, y que, partiendo del circo de Armeña, pasa por el collado de Aibón, recorta las alturas del Puig Alfàr y probablemente tenga su continuación por el pinar de la Somierre, para adentrarse en el Permotrias que aflora al N. del barranco de la Sentina. Esta falla limita también los afloramientos santonienses, aunque no así los maestrichtienses que continúan a ambos lados de ella.

Queda, por último, una serie de fracturas secundarias que si bien no suelen tener grandes desplazamientos y con frecuencia son meras diaclasas, contribuyen a determinar la configuración de los afloramientos. El sistema principal de estas fracturas es sensiblemente paralelo a la dirección N25E.

El Subsecretario de Industria inaugura la Exposición Permanente del Instituto Geológico y Minero de España

En la tarde del pasado día 29 de noviembre el Subsecretario de Industria, señor Benzo Mestre, inauguró la Exposición Permanente instalada en el Instituto Geológico y Minero de España. Dicha exposición recoge, de una manera gráfica, las principales actividades de dicho Instituto. Ocupa gran parte de la planta baja y en sus sucesivos stands puede seguirse la marcha de los proyectos en que está empeñado el IGME, planes inmediatos y futuros, actividades de sus laboratorios, etc.

El señor Benzo Mestre, acompañado del Director General de Minas, señor Morales Abad; Subdirectores Generales del Departamento; Director del Instituto Geológico; así como de otras muchas personalidades del Minis-

terio y Cuerpo de Minas, después de recorrer detenidamente la exposición se trasladaron a la E.T.S. de Ingenieros de Minas en cuyo Salón de Actos, totalmente abarrotado de público y tras sendos discursos de apertura de los señores Benzo Mestre y Morales Abad, tuvo lugar la primera conferencia de un ciclo que sobre las actividades del IGME en el III P.D.E.S. se desarrollará en días sucesivos. Esta primera conferencia estuvo a cargo del Jefe de la División de Investigación Minera, señor Quesada García, que disertó sobre "Estudio actual y Desarrollo del Programa Nacional de Investigación Minera". Al final de su actuación el señor Quesada García fue efusivamente aplaudido por todos los concurrentes.

Noticias

GEOLOGIA

EL MAGNA Y LA LITOTECA DEL IGME

Uno de los principales objetivos del proyecto MAGNA que realiza el Instituto Geológico y Minero de España, es el de crear un cuerpo sólido de geología objetiva del país sobre el que se basen en el futuro estudios que utilicen nuevas técnicas de investigación e interpretación.

En este sentido, desde hace tres meses, se han comenzado a guardar en la litoteca del Instituto Geológico y Minero de España las muestras de rocas, los microfósiles, las láminas delgadas y los levigados de las hojas geológicas a Escala de 1:50.000 finalizadas.

Hasta ahora, 5 de noviembre, se ha almacenado el material correspondiente a 32 Hojas que están constituidas por:

- 464 levigados en bolsas.
- 144 levigados en celdillas.
- 872 muestras de mano.
- 8.555 láminas delgadas.
- 371 microfósiles.

MINERIA

AMPLIAS PERSPECTIVAS DE LA LEY DE MINAS

Don Juan Antonio Gómez Angulo, doctor ingeniero de minas y Procurador en Cortes, ha pronunciado una conferencia el pasado día 24 de octubre, en el Colegio Oficial de Facultativos, Peritos e Ingenieros Técnicos de Minas de Madrid, bajo el título de "Las posibilidades que la Nueva Ley de Minas ofrece a los profesionales españoles".

El conferenciante—entre otras cosas— dijo: "La Ley de Minas regula las competencias administrativas con un criterio realista que proporcionará los cuadros de técnicos suficientes para el gran proceso de reconversión que exige nuestra minería y que ofrece nuestra variada riqueza geológica."

El señor Gómez Angulo—que fue presentado por el decano y presidente del Consejo Superior de Colegios Facultativos, Peritos e Ingenieros Técnicos de Minas—analizó los períodos de tiempo transcurridos entre la ley de 1944 y la de 1973, el creciente consumo de materias primas, a partir de 1930 y las estimaciones de que las necesidades

anuales de aquéllas se cuadruplicarán para el año 2000. Estas circunstancias y estimaciones han dado lugar al Plan Nacional de la Minería, convertido posteriormente en la Ley de Minas.

VISITA DEL DIRECTOR GENERAL DE MINAS Y DEL DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, A LAS PROVINCIAS DE GUADALAJARA Y TERUEL

El Director General de Minas, Sr. Morales Abad, acompañado del Director del Instituto Geológico y Minero de España, Sr. Izaguirre Rimmel, del Subdirector General de Explotaciones Mineras, Sr. Prado, y del Jefe de la División de Geotecnia de dicho Instituto, Sr. Echevarría Caballero, han cursado una visita a las provincias de Guadalajara y Teruel.

En el Centro de Estudios Turolense el Sr. Morales pronunció una interesante conferencia sobre la nueva Ley de Minas y la problemática minera de España y de la provincia de Teruel, estudiando detalladamente las enormes necesidades de materias primas minerales que plantea el desarrollo industrial de España y la labor que se realiza a través del Plan Nacional de Minería en sus diversos programas de Investigación Minera, Legislación y Revalorización de la Minería.

En compañía de los Gobernadores Civiles de Guadalajara y Teruel, se visitaron las minas de Sierra Menera donde la compañía explotadora ha llevado a cabo un notable esfuerzo de modernización y racionalización de las explotaciones que permitirá un aumento muy importante de su producción y de la calidad y rendimiento del mineral. Nuevos yacimientos de aquella región son objeto, actualmente, de investigación por la División de Minería del Instituto Geológico y Minero de España en la zona de Pobo de Dueñas y otras áreas donde se pretende ubicar con detalle las limonitas y los carbonatos existentes.

En Guadalajara se visitaron varias explotaciones de caolín y se hizo una exposición del Proyecto que desarrolló el Instituto Geológico y Minero de España para el conocimiento de reservas, calidades y ordenación de la explotación de las importantes reservas de caolines de la Ibérica, que abarca las provincias de Guadalajara, Teruel, Cuenca, Zaragoza y Castellón.

Posteriormente se celebró una rueda de prensa en el Gobierno Civil de Guadalajara, destacándose por las autoridades antes citadas la importancia de los yacimientos de caolines que se explotan en la provincia y cuyas posi-

lidades de ampliación se están estudiando mediante una amplia investigación de las reservas de la zona ibérica. Para esta tarea hay presupuestados 28 millones de pesetas. Guadalajara es quizá la primera provincia española en la producción de caolín y es cada vez mayor la demanda de este mineral, materia prima para la fabricación de porcelanas, cerámica fina, ladrillos refractarios y papel.

LA INVESTIGACION MINERA Y LA LEY DE MINAS

En la brillante intervención del Excmo. Sr. Ministro de Industria ante el Pleno de las Cortes, con motivo de la presentación de la Ley de Minas, se refirió a la imperiosa necesidad de desarrollar la exploración minera de nuestro País, como consecuencia del grave problema que tiene planteado el Mundo, de lograr un adecuado abastecimiento de materias primas.

"Es preciso, en primer término, intensificar las explotaciones mineras en busca de nuevas reservas o de un mejor conocimiento de las existentes, algunas de las cuales serán inmediatamente explotables, mientras que otras deberán esperar a que el progreso técnico las haga rentables."

"En segundo lugar, hay que tratar de mejorar las técnicas de extracción de forma que aumente el rendimiento de los yacimientos hoy en explotación y pueda iniciarse la de otros. En tercer lugar, cabe obtener resultados insospechados de la investigación sobre las técnicas de tratamiento de minerales de baja ley. Por último también pueden ganarse buenas bazas con la recuperación de los metales contenidos en los residuos sólidos, con lo que, además, se contribuye a eliminar la contaminación propia de las grandes ciudades o centros industriales."

"Todas las acciones mencionadas requieren la ayuda estatal, unas veces asumiendo las tareas de investigación y otras otorgando estímulos para que la iniciativa privada logre un mayor y mejor aprovechamiento de los recursos mineros. Y, cuando dichos recursos no existan en el País, habrá que buscarlos en el exterior, pero con sujeción a unos planes bien meditados, de forma que se garantice al máximo la seguridad de los suministros."

"Me parece que tanto la Administración como esta Cámara legislativa han tomado plena conciencia de las orientaciones apuntadas. Por mi parte, desde mi primera intervención como Ministro de Industria—y así lo recordé al presentar a la Comisión el Proyecto—he subrayado que uno de los objetivos primarios de la política industrial debía ser el de revalorizar y potenciar los recursos naturales del País, con la debida subordinación a los intereses de otros sectores. He insistido siempre en dos ideas fundamentales: primera, que es preciso llegar a un conocimiento detallado y profundo de nuestros recursos mineros, para no desaprovechar ninguna oportunidad latente en el subsuelo; y segunda, que sólo hemos de explotar aquellos yacimientos que tengan una clara viabilidad económica, admitiendo únicamente mínimas excepciones

en atención a algunos problemas con posibles e importantes consecuencias de orden social."

"Este interés por el tema minero había cristalizado ya de un modo especial, en el II Plan de Desarrollo, en cuya Ley aprobatoria se establecía como finalidad primordial del Plan "La ordenación de todos los recursos disponibles al servicio del hombre", y se encomendaba al Gobierno la elaboración de un Programa Nacional de Investigaciones Mineras."

Estas palabras demuestran el interés permanente del Ministerio de Industria y del Gobierno por el desarrollo de la minería española en su triple aspecto de exploración e inventario de recursos minerales, explotación y preparación comercial de los productos extraídos.

El Plan Nacional de Minería es la demostración viva y palpable de este interés y esta previsión de la Administración ante un futuro incierto, que en estos momentos ha presentado ya una de sus facetas: la crisis energética que amenaza a Europa ante la escasez de una primera materia mineral tan vital para la industria y la vida moderna como es el petróleo.

ALUNITAS DE RIAZA

Recientemente el Director General de Minas, Sr. Morales, acompañado del Director del IGME, Sr. Izaguirre, ha visitado los yacimientos de alunitas de la zona de Riaza.

El pasado mes de junio inició el IGME un estudio, que tiene por fin evaluar los recursos de este mineral, cuyo conocimiento actual es muy impreciso.

El estudio tendrá una duración de dos años y forma parte del Programa de Investigación de Minerales de Aluminio, que se desarrolla dentro del cuadro del PNUM.

Los primeros trabajos de este programa, reconocieron las reservas y calidades de las regiones de Llacuna (Tarragona) y Fuentespalda (Teruel), poniendo de manifiesto, especialmente en la última zona, unas reservas de importancia de bauxitas excesivamente siliciosas, para constituir en el momento actual un mineral apto para su aprovechamiento como mena de aluminio.

LA INVESTIGACION MINERA OBJETIVO PREFERENTE DEL GOBIERNO

En el Pleno de las Cortes Españolas, celebrado el 20 de julio, el Excmo. Sr. D. Luis Carrero Blanco al exponer el Programa del Gobierno, se refirió con claridad y contundencia a la imperiosa necesidad de conocer las posibilidades que ofrece nuestro subsuelo, para hacer frente a los graves problemas que presenta la escasez de materias primas minerales en el mundo.

"En algunos casos, no conocemos debidamente las posibilidades que ofrece nuestro propio subsuelo; en otros, no se explotan de la forma más adecuada los yacimientos o no se tratan con las mejores técnicas los minerales que se extraen de ellos; y en otros, por último, la ausen-

cia de recursos propios nos obliga a adquirirlos en el exterior. Todo ello exige establecer programas a largo plazo, que en vista de las prioridades dadas por la demanda futura de minerales, señalan caminos a la investigación completa de nuestros recursos mineros, a la ordenación de explotaciones, a la adecuada preparación comercial de los minerales y a una política de adquisiciones y participaciones en el exterior que complementen, cuantitativa y cualitativamente nuestras producciones."

La investigación planificada de nuestros principales recursos minerales, es el objetivo del Programa Nacional de Investigación Minera, que lleva a cabo el IGME, dentro del III Plan de Desarrollo Económico y Social, y que habrá de continuar en sucesivos Planes de Desarrollo, para lograr completar un verdadero inventario de nuestros recursos, que permita a la Administración establecer la política de estímulo a la Minería sobre bases seguras, que permita un mayor abastecimiento de nuestra industria con recursos propios.

La adecuada preparación comercial de los minerales españoles, será la materia del nuevo programa del Plan Nacional de Minería, el Programa de Revalorización de la Minería (PREMIN), que la Ley del III Plan de Desarrollo Económico y Social ordenó preparar, con vistas al IV Plan, al Ministerio de Industria y que actualmente se elabora por la Dirección General de Minas. Muchos de nuestros recursos mineros son actualmente despreciados, como consecuencia de su inadecuada o nula preparación comercial. El PREMIN sentará las bases de una actuación que corrija esta situación, marcando y evaluando las principales acciones que puede desarrollar el Gobierno, para hacerlos aptos de una industria en pleno desarrollo y que para ser competitivo requiere primeras materias de calidad.

EL DIRECTOR GENERAL DE MINAS VISITA LA ZONA MINERA DE PONFERRADA

El Director General de Minas, don José Morales Abad, acompañado de los señores don Julián Prado Calzado, subdirector general de Explotaciones Mineras; don José Ignacio Izaguirre Rimmel, director del Instituto Geológico y Minero de España; don Antonio Quesada García, jefe de la División de Investigaciones Mineras; don Antonio Sereno, subjefe de dicha División e ingenieros del IGME han girado una visita a varias explotaciones de la comarca.

MERCURIO

Minas de Almadén ha exportado 23.855 frascos, por valor de 383,2 millones de pesetas, durante el primer semestre del año actual.

Se ha conseguido un incremento de más del 70 por 100 sobre igual período de 1972, lo cual parece significar que se ha acabado la crisis en esta actividad.

HIDROLOGIA

LOS PROBLEMAS HIDROLOGICOS EN EUROPA

Patrocinado por la UNESCO y por la OMM, se celebró en Berna (Suiza) del 22 al 27 de agosto una reunión científica para tratar los problemas que tiene planteados la hidrología en Europa. En ella se tuvo un cambio de informaciones y experiencias entre los expertos de los institutos hidrológicos así como de normas para la planificación de futuros estudios, principalmente los que se han desarrollado en colaboración de países. Destacan también los temas siguientes: Balances hidrológicos nacionales y regionales, efectos del hombre sobre el ciclo hidrológico, utilización de modelos de cuencas para realización de los estudios, sistemas de previsión hidrológica operacional en las cuencas nacionales e internacionales, carta hidrogeológica de Europa.

AGUAS SUBTERRANEAS

EL IGME PRESENTE EN EL V COLOQUIO SOBRE EL AGUA

Entre los días 8 y 11 de octubre, organizado por el Patronato Juan de la Cierva del C.S.I.C. y la Sociedad Aguas de Barcelona, ha tenido lugar en San Sebastián el V Coloquio sobre el Agua, al que han asistido en representación del IGME los señores Izaguirre Rimmel y Gálvez Cañero.

A las reuniones han acudido numerosos especialistas de la Administración y de las empresas privadas cuyas actividades están relacionadas con este vasto tema del agua.

Por parte del IGME y de la Empresa Nacional ADARO se presentaron numerosos y muy interesantes trabajos que ponen de manifiesto la excelente preparación de los Ingenieros de Minas y los Geólogos que intervienen en el PROGRAMA DE AGUAS SUBTERRANEAS (PIAS) que actualmente se desarrolla (dentro del PLAN NACIONAL DE MINERIA) y que por primera vez, en nuestro país, estudia a escala de cuenca hidrográfica los importantes recursos globales de aguas subterráneas españoles y su explotación coordinada con los recursos de agua superficial.

Destacaron entre otros los trabajos relativos al Estudio Hidrogeológico de la provincia de Guipúzcoa y el proyecto Cazorla-Hellín-Yecla. El primero ha permitido seleccionar los acuíferos más interesantes de Guipúzcoa y llegar al aprovechamiento parcial de algunos de ellos (Mondragón, Irura, etc.), paliando en cierto modo la necesidad grave de suministrar de aguas a la industria y la población de la superpoblada provincia de Guipúzcoa. El segundo que ha puesto de manifiesto la gran importancia de los acuíferos subterráneos de esa zona de la

Mancha (recursos explotables mínimos de 350 H³ m/año) tan necesitado de este preciado elemento que constituye el agua.

LABOR CONJUNTA DEL IGME Y DE LA DIPUTACION DE GUIPUZCOA

En el despacho del Presidente de la Diputación se reunieron el Director del Instituto Geológico y Minero de España, don José Ignacio Izaguirre Rimmel, junto con don Antonio Vega de Seoane, delegado de dicho Instituto en Guipúzcoa, y el presidente de la Diputación, don Juan María de Araluce, a quien acompañaban el Ingeniero señor Gabarain.

Fue firmada un acta como constancia de la labor llevada a cabo por el consorcio constituido por ambas entidades, para la investigación de los recursos de aguas subterráneas existentes en el subsuelo de la provincia.

El Instituto Geológico y Minero entregó a la Diputación un informe sobre el estudio hidrogeológico general de la provincia de Guipúzcoa que recoge los sondeos realizados en Mondragón, Anoeta y Deva.

ENERGIA

PROSPECCIONES EN GERONA

En la localidad de Vilacolum, Gerona, se han iniciado unas prospecciones en busca de energía geotermal, considerada más barata que las usuales hasta el momento y mucho menos polucionada.

CONTAMINACION

EL I.N.I. FAVORABLE AL SISTEMA DE DEPURACION DE LA CELULOSA DE MERIDA

Edes, la empresa de estudios del Instituto Nacional de Industria, acaba de entregar su Informe sobre la contaminación de las aguas por los vertidos de la fábrica de pasta de papel de Mérida.

El estudio de Edes afirma que "el sistema de depuración adoptado es el adecuado para tratar el fluente de una fábrica de pasta de papel kraft, en la que previamente se han tratado las lejías "negras" y formula, además, unas recomendaciones de detalle para que se mejore aún más el sistema de depuración.

También señala el informe que "los caudales mínimos necesarios en el Guadiana aguas abajo del vertido, para conseguir los parámetros exigidos por la Comisaría de Aguas en cuanto a oxigenación del río, son 3,2 metros cúbicos por segundo en julio (mes más caluroso) y 4,6 metros cúbicos en enero (mes menos caluroso), sin embargo, que los parámetros exigidos por la Comisaría de

Aguas son superiores a los necesarios para la fauna fluvial, por lo que los caudales mínimos necesarios podrán rebajarse a dos metros cúbicos por segundo en julio y 3,5 metros cúbicos en enero.

JORNADAS SUECAS DEL MEDIO AMBIENTE

Los días 7 y 8 de noviembre se celebraron en Madrid las Jornadas Técnicas Suecas del Medio Ambiente, organizadas por la Cámara de Comercio de Suecia en Madrid y por el Consejo de Exportación. El objeto de estas Jornadas es presentar las más recientes innovaciones en materia de protección del medio ambiente utilizadas por la industria sueca. Dentro del programa se incluyen los grandes temas de protección del agua, de la atmósfera y del tratamiento de las basuras. Dentro del tema general de protección del agua se prestó especial atención al tratamiento de las aguas residuales, tanto de las ciudades como de la industria.

Estas Jornadas suecas han estado dirigidas principalmente a aquellas personas que en España están llamadas a resolver los problemas del medio ambiente, presentándoles los progresos obtenidos en un país que como Suecia ocupa el primer lugar mundial en la conservación de la Naturaleza en la que se han invertido en los últimos años más de dieciséis mil millones de pesetas.

REUNIONES CIENTIFICAS

III REUNION DE DIRECTORES DE SERVICIOS GEOLOGICOS DE LA EUROPA OCCIDENTAL

En Londres, durante los días 18 y 19 del mes de octubre y en la sede del Servicio Geológico Británico, tuvo lugar la "III Reunión de Directores de Servicios Geológicos de la Europa Occidental" con asistencia de 14 Delegaciones, todas las de la Europa Occidental a excepción de Suiza y Noruega. Por parte de España asistieron el Director del Instituto Geológico y Minero de España, Sr. Izaguirre Rimmel, acompañado del Subdirector y del Jefe de la División Geológica de dicho Centro, Sres. Cantos Figueroa y Alvarado Arrillaga, respectivamente.

Se trató de tres temas fundamentales:

- 1.º Aprovechamiento de estructuras geológicas para almacenamiento de residuos industriales.
- 2.º Estudio Geológico de la Plataforma Continental.
- 3.º Función asesora de los servicios geológicos a la empresa privada.

Esta III Reunión, como las anteriores, se ha distinguido por un extraordinario clima de camaradería y apertura que hace posible la confrontación de determinados problemas de los distintos países.

Se acordó celebrar la IV Reunión en octubre próximo,

en Madrid, en la sede del Instituto Geológico y Minero de España.

VII CURSO DE HIDROLOGIA APLICADA

Organizado por el Instituto Geológico y Minero de España, Empresa Nacional ADARO y Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, se celebrará del 8 de enero al 5 de abril próximos el VII Curso de Hidrogeología Aplicada.

Desde 1967 el Instituto Geológico y Minero de España y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, han venido organizando Cursos de Hidrogeología Aplicada dirigidos a postgraduados y alumnos de último curso de Facultades de Ciencias y Escuelas Técnicas Superiores.

En dichos Cursos han tenido una muy destacada actuación los técnicos de FAO (Food and Agriculture Organization) que han trabajado en España en el Proyecto de Investigaciones Hidrogeológicas de la Cuenca del Guadalquivir y en el último Curso 1972-73, los técnicos de la Empresa Nacional ADARO.

Como en años anteriores el Curso tiene una marcada orientación práctica y serán tratados con especial interés temas tan actuales como los modelos de simulación, la contaminación de aguas subterráneas, la recarga artificial de acuíferos y la inyección de aguas residuales en el suelo.

Como complemento del Curso, aunque independiente del mismo, se va a organizar cada año un Seminario sobre un tema concreto, dirigido por un destacado especialista. Para este año el tema elegido es el de la "Inyección de Aguas Residuales en el Subsuelo, Prevención contra la Contaminación de Acuíferos Subterráneos".

El Curso, coordinado por la Escuela de Hidrogeología del Instituto de Hidrogeología (C.S.I.C.) se integra como los anteriores en el Decenio Internacional, iniciado en 1965 bajo los auspicios de la UNESCO.

CICLO DE CONFERENCIAS SOBRE LAS ACTIVIDADES DEL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA EN EL III PLAN DE DESARROLLO ECONOMICO Y SOCIAL

Con ocasión de la inauguración por el Subsecretario de Industria de la Exposición Permanente de las actividades del IGME, se ha organizado un "ciclo de conferencias sobre las actividades del Instituto Geológico y Minero de España, en el III P.D.E.S."

Dicho ciclo se ha desarrollado con gran brillantez en el salón de actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, según el siguiente programa:

Día 29 de noviembre de 1973, jueves, 19,30 horas, *Estado actual y desarrollo del Programa Nacional de Investigación Minera*, por don Antonio Quesada García, Jefe de la División de Investigación Minera del IGME.

Día 30 de noviembre de 1973, viernes, 19,30 horas, *Programación, control y archivo de documentación del Mapa Geológico Nacional, a E. 1:50.000*, por don Ramón Rey Jorissen, Jefe del Departamento de Cartografía del IGME.

Día 5 de diciembre de 1973, miércoles, 19,30 horas, *El Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas*, por don Juan Enrique Coma Guillén, Jefe de la División de Aguas Subterráneas del IGME.

Día 6 de diciembre de 1973, jueves, 19,30 horas, *Realizaciones y actuaciones futuras del Programa Sectorial de Investigación Geotécnica*, por don Mariano Echevarría Caballero, Jefe de la División de Geotecnia del IGME.

El acto de clausura que revistió gran brillantez estuvo presidido por el Director General de Minas.

EL SUBSECRETARIO DE INDUSTRIA CLAUSURA EL COLOQUIO EUROPEO DE MICROPALAEONTOLOGIA

"Es necesario mejorar profundamente el conocimiento geológico de nuestro país si queremos efectuar, de forma suficientemente ordenada, la ejecución de los programas de investigación y revalorización contenidos en el Plan Nacional de la Minería", ha manifestado el subsecretario de Industria, don Fernando Benzo Mestre, en la clausura del XIII Coloquio Europeo de Micropaleontología, organizado por la Empresa Nacional Adaro en colaboración con la Comisión Nacional de Geología. El acto se celebró en los laboratorios de ENADINSA, cercano al Cerro de los Angeles.

En el coloquio, que comenzó el pasado 18 de septiembre, han participado más de un centenar de especialistas en representación de dieciocho países europeos y cinco de otros continentes (Canadá, Japón, Libia, México y Estados Unidos). El anterior coloquio, hace dos años, se celebró en la Unión Soviética.

En el acto de clausura hicieron uso de la palabra el representante mejicano, señor Bonet, que habló en nombre de los participantes; el presidente del Comité de Trabajo del Coloquio, el italiano doctor Perconing, y el presidente de la Comisión Nacional de Geología, señor Gómez Angulo, quien destacó la importancia de la Micropaleontología en la investigación minera.

Por último, el subsecretario de Industria cerró el acto con un discurso en el que se refirió a la constante preocupación del Gobierno español por la intensificación de la actividad investigadora, fundamentalmente la investigación básica, objetivo principal del III Plan de Desarrollo.

I REUNION NACIONAL DEL CUATERNARIO

Han finalizado las tareas de la I Reunión Nacional del Cuaternario, patrocinada por la Universidad Complutense de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Cien-

tíficas y organizada por la Asociación Española de Geología, con la colaboración de otros organismos científicos y de investigación.

La sesión inaugural se celebrará en el Instituto de Edafología (calle de Serrano, 117), a las diez treinta de la mañana, con la intervención del presidente del Comité español del Cuaternario y de la Reunión, don Emiliano Aguirre, paleontólogo y antropólogo y profesor de la citada Universidad. Las reuniones de trabajo se han desarrollado entre los días 8 y 11 del pasado mes, con visitas al valle del Jarama y al sistema Henares-Jarama.

Se han inscrito sesenta especialistas entre geólogos, edafólogos, geógrafos, arqueólogos, antropólogos y meteorólogos, que estudiarán interesantes aspectos de la última de las edades geológicas, iniciada hace dos millones de años, y cuyos resultados serán de aplicación en ciencias y técnicas agronómicas, aguas subterráneas, construcción, conservación de la naturaleza y paisaje y uso del territorio.

SYMPOSIUM DE MICROSEISMOS

El 30 de agosto tuvo lugar en Lima, un Symposium de microseísmos con la presentación de las comunicaciones siguientes: Introducción histórica a las observaciones microsísmicas en el Hemisferio Sur. Ruido sísmico de fondo y perturbaciones atmosféricas transitorias o estacionarias en Africa Occidental. Nota breve del Grupo de Microseísmos. Investigación de los microseísmos de período largo de Africa del Sur. Estimación de intensidad desde 1969-70 de ciclos de energía y potencia de vibraciones microsísmicas conjugadas. Ruido de fondo sísmico de período corto en Polinesia (Francia). Tres puntas en el espectro microsísmico. Actividad microsísmica y algunos resultados de su estudio.

SEMINARIO DE MICROSCOPIA ELECTRONICA

En Barcelona, del 27 al 29, ambos inclusive, del pasado mes de noviembre, tuvo lugar un seminario de microscopía electrónica, organizado por Perkin-Elmer Hispania, S. A.

Entre los conferenciantes destacamos a los profesores L. Bru (Cátedra de Física de la Universidad Complutense de Madrid), Merchán y Bullón, Jr. (Cátedra de Anatomía Patológica de la Universidad Complutense de Medicina de Madrid) y J. Alonso (Universidad Politécnica de Valencia).

FERIA INTERNACIONAL DE LA MINERIA (GIJON, 1974)

En reciente sesión celebrada por la Comisión Ejecutiva de las Ferias de Muestras de Asturias, bajo la pre-

sidencia de don Luis Adaro Ruiz-Falcó, se trató de la organización de dicha Feria y sobre la oportunidad de convocar, coincidiendo con ella, una Feria Internacional de la Minería.

Como recordarán gran parte de nuestros lectores, en 1967 tuvo lugar el I Salón Monográfico Internacional de Maquinaria de Minas, al que concurrieron 159 expositores procedentes de 13 países europeos y 148 expositores nacionales.

Dado el éxito del certamen a que acabamos de referirnos, la Comisión acordó solicitar del Ministerio de Comercio la inclusión en el calendario nacional de ferias y exposiciones el II Salón Monográfico de Máquinas de Minas y Canteras, a celebrar los días 3 a 18 de agosto de 1974, en Gijón.

PERSONAL

HEROICA ACTUACION DE UN GRUPO DE EMPLEADOS DEL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA EN LA RECIENTE CATASTROFE DEL SURESTE ESPAÑOL

La magnitud de la catástrofe ocurrida en las provincias de Almería, Granada y Murcia, a consecuencia del fuerte temporal de lluvias, ha tenido entre sus muchos heroicos protagonistas a un grupo de empleados del IGME.

Por imperativo del trabajo encomendado a nuestro Grupo de Aforos, éste se encontraba ubicado en pleno cauce del río Andarax, efectuando el montaje de un grupo motobomba a fin de realizar, posteriormente, un bombeo de ensayo.

Las lluvias torrenciales caídas en la noche del jueves 18 y durante el 19 de octubre, hizo pensar a los señores Camacho, Rodríguez y Ortiz, en el riesgo que esto representaba para el material de Aforos.

A las ocho de la mañana del día 19 los citados se encontraban en el punto de trabajo, donde estaba el referido material. Viendo cómo las aguas aumentaban su nivel y el inminente peligro de arrastre de la "Caravana", en principio, y posteriormente del resto del material, no dudaron en introducirse en el lecho del río Andarax procediendo al amarre, mediante cadenas, de la Caravana, Camión y Grupo Electrogénico, a la cabeza de la entubación del sondeo.

Este arduo trabajo se desarrolló bajo una fuerte lluvia y con el valor necesario que supone, el llevarlo a cabo inmersos en el agua y ante el riesgo intrínseco del gradual aumento del nivel de las aguas.

Queremos resaltar aquí la total abnegación y espíritu incondicional de entrega de los citados señores, gracias a los cuales ha sido posible la salvación de los equipos allí ubicados cuya pérdida hubiera supuesto al Estado una cuantía de más de un millón de pesetas.

PUBLICACIONES

ULTIMAS PUBLICACIONES CARTOGRAFICAS
DEL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO
DE ESPAÑA

Cartografía Geológica: Han quedado publicadas, de la serie MAGNA, las Hojas E.1:50.000 siguientes:

Núm. 13.	Avilés.
" 14.	Gijón.
" 15.	Lastres,
" 570.	Albacacer.
" 593.	Cuevas de Vinromá.
" 617.	Faro de Oropesa.
" 666.	Chelva.
" 694.	Chulilla.
" 719.	Venta del Moro.
" 720.	Requena.
" 30.	Villaviciosa.
" 693.	Utiel.
" 616.	Villafamés.
" 418.	Montblanch.
" 545.	Morella.
" 154.	Lalin.

Estas Hojas quedan ya a disposición del público y a ellas hay que añadir las 12 ya publicadas, con lo que hacen un total de 28. En imprenta hay en estos momentos finalizándose 7 Hojas más, con lo que para fin de año se contará con 35 Hojas y Memorias publicadas.

Cartografía minera: Del Mapa Metalogenético de España, de E.1:200.000, han aparecido últimamente las Hojas:

Núm. 11.	Reinosa.
" 20.	Burgos.
" 38.	Segovia.
" 39.	Sigüenza.

Las citadas, junto con las anteriormente editadas, hacen un total de 16 Hojas y Memorias publicadas hasta la fecha. Además hay muy adelantadas de imprenta 6 Hojas más, con lo que se contará para finales de año con un total de 22 Hojas y Memorias.

Mapa Nacional de Rocas Industriales: Del Mapa de Rocas Industriales, a E.1:200.000, han aparecido las Hojas y Memorias:

Núm. 1.	La Coruña.
" 2.	Avilés.
" 3.	Oviedo.
" 7.	Santiago de Compostela.
" 16/26.	Pontevedra/La Guardia.
" 45.	Madrid.
" 53.	Toledo.
" 56.	Valencia.
" 64.	Alcoy.
" 73.	Alicante.
" 79.	Murcia.
" 84/85.	Almería/Garrucha.

Cartografía Geotécnica: En E.1:200.000 y dentro de la colección del Mapa Geotécnico General, están puestas a la venta las Hojas y Memorias siguientes:

Núm. 1.	La Coruña.
" 2.	Avilés.
" 3.	Oviedo.
" 7.	Santiago de Compostela.
" 9.	Cangas de Narcea.
" 10.	Mieres.
" 16/26.	Pontevedra/La Guardia.
" 29.	Valladolid.
" 35.	Barcelona.
" 45.	Madrid.
" 52.	Talavera de la Reina.
" 53.	Toledo.
" 83.	Granada/Málaga.
" 84/85.	Almería/Garrucha.

Al finalizar el año se contará con las siguientes:

Núm. 56.	Valencia.
" 64.	Alcoy.
" 72.	Elche.
" 73.	Alicante.
" 79.	Murcia.
" 91/93.	S. Cruz de Tenerife-Las Palmas.

Mercado de Minerales y Metales

Cotizaciones en el Mercado Internacional en pesetas por unidad métrica

Metales preciosos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
ORO			
Metal:			
Bolsa de Londres	L	g	189,04
Bolsa de Engelhard	N	g	183,55-183,92
PLATA			
Metal:			
Bolsa de Londres	L	g	4,81
Bolsa de Nueva York	N	g	4,90
PLATINO			
(Despendiendo del tamaño del lote)			
Metal:			
Refinado, mercado interior del Imperio Británico	L	g	291,72-300,56
Mercado USA, lotes al por mayor	N	g	274,50-298,29
Mercado libre	L	g	299,46-312,72

Menas y concentrados.

Estos metales no tienen cotización como mineral. En el caso de existir alguna venta, se aplica una fórmula en la cual se paga el contenido en metal y los grados de fusión. No hay ninguna relación establecida internacionalmente.

Metales férricos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
HIERRO			
Menas del Lago Superior puestas en los puestos más bajos del lago:			
Bessemer:			
Mesabi 51,5 % Fe, máx. 0,045 P, máx 8,9 % SiO ₂ , máx 5,9 % humedad	N	t	676,69
Old range	N	t	690,71
Non-Bessemer:			
Mesabi 51,5 % máx 0,180 %, máx 8,32 % SiO ₂ , máx 9,7 % humedad	N	t	668,27
Old range	N	t	682,30
Gruesos para horno Siemens	N	t	727,75
Sinterizados de taconita	N	t	721,01
Nódulos de taconita	N	t	743,46
Pellets de hierro natural	N	t. u. Fe	16,50
El mineral en trozos tiene un premium	N	t	44,89
Los finos tienen una penalización	N	t	25,25

Metales férricos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
COBALTO			
Metal:			
Bajo contrato con los consumidores	L	kg	165,90
Precio productor	L	kg	402,27
Granalla, 99 % Co:			
Lotes de menos de 50 kg en bidones	N	kg	389,70
Lotes de 50-249 kg en bidones	N	kg	383,42
Lotes mínimos de 250 kg	N	kg	377,13
Polvo, 300-400 mesh, bidones de 50 kg	N	kg	491,53
Polvo, extra tipo, bidones de 125 kg	N	kg	584,55
Polvo, grado S, en lotes de 10 t	N	kg	377,13
Briquetas, lotes de 10 t	N	kg	343,19
En el mercado libre	L	kg	357,91-373,07

Menas y concentrados:

Las menas de este metal no aparecen normalmente en el mercado libre, ya que las compañías explotadoras normalmente son también beneficiarias. Las únicas menas que alguna vez aparecen en el mercado son las canadienses y en este caso el precio se calcula en dólares por libra de cobalto contenido FOB Ontario (FOB ON). Los precios completamente nominales marcados por el estado canadiense, para favorecer el desarrollo minero son los siguientes:

Menas de 10 % de Co	N	kg Co cont	75,43
Menas de 11 % de Co	N	kg Co cont	88
Menas de 12 % de Co	N	kg Co cont	100,57

CROMO

Metal:

En gránulos, mín 99 % Cr, lotes de 5 a 10 t	L	kg	141,95
Aluminotérmico, 99,25 % Cr	N	kg	173,48
Electrolítico, 99,8 % Cr	N	kg	173,48
Fundido al vacío	N	kg	182,28

Menas y concentrados (Cromita).

Se trata de mineral básicamente seco, sujeto a penalidades si no existen suficientes garantías; los términos de los contratos de compra (sujetos a negociaciones) son generalmente más bajos que la cotización en el mercado. En cada caso se tiene en cuenta la relación de cromo a hierro contenida en el mineral (ratio).

Ruso, fragmentos apelmazados, mín 48 % Cr ₂ O ₃ , ratio, 3,5:1	L	t	2.280-2.508
Turco, fragmentos 48 % Cr ₂ O ₃ tomando como base el de ratio 3.1	L	t	1.824-2.109
Turco, cocentrado 48 % Cr ₂ O ₃ tomando como base el de ratio 3.1	L	t	1.710-1.995
Ruso, 54/56 % Cr ₂ O ₃ , ratio 4.1, tomando como base para su precio el de ratio 4.1 del 48 %	N	t	2.565-2.651
Turco, 48 % Cr ₂ O ₃ , ratio 3:1	N	t	3.086-3.142
Transvaal, 44 % Cr ₂ O ₃ , sin ratio	N	t	1.347-1.515

MANGANESO

Metal:

Electrolítico, mín 99,9 % Mn, lotes de 1 a 5 t	L	t	48.142-52.269
Regular, 99,9 % Mn, empaquetado	N	kg	41,74
Deshidrogenado, 99,9 % Mn, empaquetado	N	kg	41,74

Metales férricos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
48/50 % Mn, máx 0,1 % P	L	t. u. Mn	49,03-52,45
38/40 % Mn	L	t. u. Mn	Nom.
48 % Mn (bajas impurezas)	N	t. u. Mn	38,15-42,08
46 % Mn	N	t. u. Mn	---
Calidad para baterías:			
70/85 % MnO ₂ , en gránulos	L	t	3.520-3.926
70/75 % MnO ₂ , en terrones mezclados	L	t	5.415-6.092

MOLIBDENO

Metal:

Polvo	L	kg	529,57-550,20
Polvo de reducción hidrógena, 99,95 % Mo	N	kg	502,84

Menas y concentrados:

Climax (mineral de la American Metal Clima Inc), mín 85 % MoS ₂ (durante 1972 vendieron mineral de 95 % MoS ₂ cont)	L y N	kg Mo cont	209,28
Concentrado de otros orígenes	L	kg Mo cont	207,42-216,22
Obtenido como subproducto o coproducto en función del grado	N	kg Mo cont	175,99-207,42

NIQUEL

Metal:

Refinado, en lotes mínimos de 4 t	L	t	195,183
"F" granalla, en lotes mínimos de 5 t	L	t	183,217
Sintetizado 75 (óxido de níquel)	L	t Ni cont	179,090
Sintetizado 90 (óxido de níquel)	L	t Ni cont	182,804
Cátodos 99,9 % Ni	N	kg	192,34
Sintetizado 75 (óxido de níquel)	N	kg	172,22
Sintetizado 90 (óxido de níquel)	N	kg	175,99
Refinado, en el mercado libre	L	kg	184,79-194,85

Menas y concentrados.

Según contenido en níquel, tomando como base de discusión el precio del níquel en cátodos de 99,9 % con deducciones que dependen de las impurezas y de los gastos de tratamientos. No existe una fórmula internacional de compra, las compañías compradoras estudian cada caso en concreto.

VANADIO

Metal:

Sólo se cotiza como ferroaleaciones.

Menas y concentrados:

Pentóxido, fundido mín 98 % V ₂ O ₅	L	kg V ₂ O ₅ cont	211,19-223,76
Pentóxido, fundido mín 98 % V ₂ O ₅	N	kg V ₂ O ₅ cont	188,57
Grado técnico, secado por aire	N	kg V ₂ O ₅ cont	277,82
Pentóxido, por medio de agente (exportación USA).	N	kg V ₂ O ₅ cont	188,57

VOLFRAMIO

Metal:

Polvo 98/99 % W	L	kg W cont	552,95
Reducción al carbón 98,8 %, lotes de 1000 lb	N	kg	565,70
Reducción hidrogénica 99,99 % W	N	kg	624,78-847,29

Metales férricos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
Menas y concentrados:			
Menas indiferenciadas, calidad normalizada, mínimo 65 % WO ₃ ...	L	t. u. WO ₃	2.558-2.627
Wolframita:			
Comprador ...	L	t. u. WO ₃	2.352
Vendedor ...	L	t. u. WO ₃	2.338
Scheelita I:			
Comprador ...	L	t. u. WO ₃	2.448
Vendedor ...	L	t. u. WO ₃	2.421
Scheelita II:			
Comprador ...	L	t. u. WO ₃	2.531
Vendedor ...	L	t. u. WO ₃	2.627
Ferroaleaciones:			
Ferro-volframio, 80/85 % W ...	L	kg W cont	367,26-374,14
Carburo de wolframio en polvo, micronizado ...	L	kg	660,24-687,75

Metales no férricos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
ALUMINIO			
Metal:			
Lingotes vírgenes, superpureza, mín 99,99 % Al, en lingotes de 22 lb ...	L	t	60.522
Lingotes vírgenes, mín 99,5 % Al ...	N	kg	31,43
Mercado internacional:			
Mín 99,6 % Al ...	L	t	42.228-42.916
Mín 99,7 % Al ...	L	t	44.016-44.704
Menas y concentrados (Alumina y Bauxita):			
Alumina calcinada 98,5/99,5 % Al ₂ O ₃ empaquetada, en lotes de 20 t ...	L	t	9.113
Alumina calcinada, con contenido medio en sosa, en lotes de 50 t ...	L	t	24.871
Bauxita, grado abrasivo, mín 86 % Al ₂ O ₃ , a granel ...	L	t	6.066-6.673
Bauxita, grado refractario, mín 86 % Al ₂ O ₃ , a granel.	L	t	7.856

CINC

Metal:			
Lingotes, tipo LME normalizado, mín 98 % Zn ...	L	t	60.522
Calidad "GOB" base del productor, 98/98,5 % Zn.	L	t	34.387
Lingotes de cinc electrolítico, mín 99,95 % Zn (con un premio ...)	L	t	61.141
Lingotes de cinc fino, mín 99,99 % Zn (con un premio 4,50 £/t) ...	L	t	61.622
Calidad "Prime Western", mín 98 % Zn ...	N	kg	25,52
Lingotes de alto grado (HG), mín 99,9 % Zn (con un premio 8 £/t) ...	N	kg	26,65
Lingotes especiales de alto grado (SHG), mínimo 99,99 % Zn (con un premio) ...	N	kg	26,78

Metales no férricos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
Menas y concentrados:			
El precio de venta del mineral se calcula mediante fórmula internacional, tomando como punto de partida la base del productor.			
Sulfuro del 52 % Zn ...	L	t	8.415
Sulfuro del 55 % Zn ...	L	t	10.018

COBRE

Metal:			
Bobinas (L.M.E.) ...	L	t	107.238
Cátodos (L.M.E.) ...	L	t	106.791
Menas y concentrados:			
Los minerales de cobre se compran según una fórmula internacional.			
Menas del 15 % Cu ...	L	t	12.157
Menas del 20 % Cu ...	L	t	17.290
Menas del 25 % Cu ...	L	t	23.450

ESTAÑO

Metal:			
Lingotes tipo normalizado, mín 99,75 % Sn (LME). Calidad A, mín 99,8 % Sn ...	L	t	284.453
	N	tg	301,70
Menas y concentrados:			
El precio de venta del mineral se calcula mediante fórmula internacional.			
Menas de estaño del 20 % Sn ...	L	t	43.136
Menas de estaño del 30 % Sn ...	L	t	72.269
Menas de estaño del 40 % Sn ...	L	t	101.527
Menas de estaño del 65 % Sn ...	L	t	175.035
Menas de estaño del 70 % Sn ...	L	t	192.834
Menas de estaño del 75 % Sn ...	L	t	207.057

PLOMO

Metal:			
Lingotes, tipo LME normalizados, mín 99,97 % Pb.	L	t	25.240

Menas y concentrados:			
El precio de venta del mineral se calcula mediante fórmula internacional, tomando como punto de partida la base del producto. Estos precios están calculados considerando que esas menas no tienen nada de plata.			
Concentrados de 70 % Pb ...	L	t	12.300
Concentrados de 80 % Pb ...	L	t	14.982

Metales secundarios	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
ANTIMONIO			
Metal:			
Regulos inglés, 99,5 % Sb, lotes 5 t ...	L	t	105.915
Regulos inglés, 99,6 % Sb, lotes 5 t ...	L	t	109.352
Importado 99,6 % Sb ...	L	t	115.542-118.293
Calidad RMM, mín 99,5 % Sb ...	N	kg	82,97
Calidad Lone Star, mín 99,8 % Sb ...	N	kg	100,57
Importado, mín 99,5/99,6 % Sb, lotes 5 t ...	N	kg	81,71-88

Metales secundarios	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
Menas y concentrados:			
Fragmentos sulfurosos, mín 50/55 % Sb	L	t. u. Sb	826,65-883,66
Fragmentos sulfurosos, mín 60 % Sb	L	t. u. Sb	883,66-997,68
Crudo, mín 70 % Sb, en fragmentos	L	t	112.791
Crudo, mín 70 % Sb, en polvo negro	L	t	119.668
BERILIO			
Metal:			
Polvo 98 % Be, dependiendo de tamaño de los lotes.	N	kg	6.789-8.297
Aleaciones de aprox. 4 % Be y resto de Cu, en lingotes de 5 lb y en lotes 336 lb, se añade el Cu al precio de cotización de ese día	L	kg	6.659
Menas y concentrados:			
En fragmentos escogidos a mano, mín 10 % BeO ...	L	t. u. BeO	1.960-2.170
Importado, 10/12 % BeO (n)	N	t. u. BeO	2.100-2.450
BISMUTO			
Metal:			
Mercado internacional, en lotes de tonelada	L y N	kg	727,83-735,40
Menas y concentrados:			
Oxido, mín 60 % Bi	L	kg Bi cont	Nom.
CADMIO			
Metal:			
Barras mín 99,95 % Cd., en lotes de tonelada	N	kg	471,44
Lingotes en el mercado libre	L	kg	436,21-442,50
Barras en el mercado libre	L	kg	436,21-442,50
Menas y concentrados.			
Las menas de este metal no son cotizadas en el mercado, ya que el 80 % del cadmio producido se obtiene de la fundición de los minerales de cinc y el resto de otras metalurgias similares.			
CIRCONIO			
Metal:			
Esponja, polvo o placas:			
Bajo contenido Hf	N	kg	879,97-1.760
Grado comercial	N	kg	628,55-1.257
Menas y concentrados (Zircon):			
Calidad normalizada, mín 66/67 % ZrO ₂	L	t	3.643-4.047
Calidad con premio, máx. 0,1 % TiO ₂	L	t	4.047-4.452
LITIO			
Metal:			
Lingotes, mín 99,9 % Li, en lotes de 1000 lb	N	kg	1.028-1.060
Menas y concentrados:			
Ambrigonita 6/8 % Li ₂ O, en base al 8 %	L	t. u. Li ₂ O	913,33-1.050
Lepidolita 3/3,5 % Li ₂ O, en base al 3 %	L	t. u. Li ₂ O	943,59-980,76
Petalita 3,5/4,5 % Li ₂ O, en base al 3 %	L	t. u. Li ₂ O	618,98-756,53
Espodomena 4/7 % Li ₂ O, en base al 6 %	L	t. u. Li ₂ O	778,53-811,55

Metales secundarios	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
MAGNESIO			
Metal:			
Lingotes de calidad electrolítica, mín 99,8 % Mg en lotes mínimos de 10 t	L	t	57.290
Lingotes mín 99,95 % Mg, en lotes mínimos de 10 t.	L	t	55.158
Barras fundidas con entalladuras, en lotes de 1/2 a 1 t	L	t	67.399
Polvo de "Grado 4", mín 99,95 % Mg, en lotes mínimos de 1 t	L	t	109.765
Limaduras, en lotes mínimos de 1 t	L	t	76.890
Lingotes mín 99,8 % Mg, en el mercado libre	L	t	58.459-61.210
Lingotes en bruto, mín 99,8 % Mg, en lotes de 10.000 lb	N	kg	48,02
Lingotes fundidos con entalladuras, en lotes de 10.000 lb	N	kg	49,03
Menas y concentrados.			
Este metal se recupera a partir de una serie de rocas que en su composición química contienen un alto grado de Mg, tales como la brucita, dolomita, magnesita y olivino.			
MERCURIO			
Metal:			
Mercado europeo, en frascos de 76 lb	L	f	15.051-15.279
Mercado americano, en frascos de 76 lb	N	f	15.393-16.533
Menas y concentrados.			
Las menas no se comercian, ya que son siempre tratadas por los países productores.			
NIOBIO O COLUMBIO			
Metal:			
Calidad metalúrgica 99,5/99,8 % Nb, dependiendo del tamaño de los lotes:			
Polvo y perdigones	N	kg	1.383-2.766
Lingotes rugosos	N	kg	2.011-2.394
Menas y concentrados:			
Columbita mín 65 % Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅ , de ratio Nb ₂ O ₅ /Ta ₂ O ₅ : 10/1	L	t. u. Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅	1.557-1.692
Pirocloro, mín 50 % Nb ₂ O ₅	N y L	kg Nb ₂ O ₅ cont	178,51-183,54
Columbita 65 % Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅ , de ratio Nb ₂ O ₅ /Ta ₂ O ₅ : 10/1 (n)	N	kg	157,14-169,71
TANTALIO			
Metal:			
Polvo 99,5/99,8 % Ta, dependiendo del tamaño de los lotes	N	kg	3.583-4.840
Láminas dependiendo de la pureza	N	kg	4.526-7.543
Varillas dependiendo de la pureza	N	kg	4.526-6.285
Menas y concentrados:			
Tantalita:			
Mín 60 % Ta ₂ O ₅	L	kg Ta ₂ O ₅ cont	879,97-1.006
Mín 25/40 %, tomando como base 30 % Ta ₂ O ₅ ...	L	kg Ta ₂ O ₅ cont	754,26-879,97
Columbita: ver mineral de COLUMBIO.			

Metales secundarios	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
TITANIO			
Metal:			
Esponja inglesa, mín 99,3 % Ti, máx 120 Brinell ...	L	kg	159,24
Tochos de 4"18" de diámetro, en lotes de 2.000 kg.	L	kg	352,13-497,93
Esponjas USA, mín 99,3 % Ti, máx 115 Brinell, en lotes de 500 lb ...	N	kg	178,51-182,28
Menas y concentrados:			
Rutilo 95/97 % TiO ₂ , empaquetado ...	L	t	10.281-10.685
Ilmenita de Malasia, 52/54 % TiO ₂ ...	L	t	1.285-1.557
Rutilo, mín 96 % TiO ₂ , para comercio interior, 12 % máximo humedad ...	N	t	13.200
Ilmenita, mín 54 % TiO ₂ ...	N	t	1.234-1.347
Escorias canadienses, mín 70 % TiO ₂ ...	N	t	2.805

Metales menores o escasos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
---------------------------	---------	--------	----------------------

ARSENICO

Metal:			
Fragmentos negros, mín 99 % As, en lotes de tonelada	L	t	110.040-137.550

Menas y concentrados.

El arsénico es obtenido como subproducto en las metalurgias del cobre, cinc y otras menas.**CESIO**

Mín 99,5 %: lotes de 1-277 g ...	N	g	79,81-205,24
lotes de 1-9 lb ...	N	kg	31.527-34.570
lotes de 10-99 lb ...	N	kg	25.142-28.285
lotes de 100-999 lb ...	N	kg	18.856-21.999
lotes de 1.000 o más lb ...	N	kg	12.571
Mín 99,9 %: lotes de 1-277 g ...	N	g	102,62-228,04
lotes de 1-9 lb ...	N	kg	37.713-40.856
lotes de 10-99 lb ...	N	kg	31.427-34.570
lotes de 100-999 lb ...	N	kg	23.885-27.656
lotes de 1.000 o más lb ...	N	kg	15.714

Menas y concentrados:

Polucita, mín 24 % Cs ₂ O ...	L	t. u. Cs ₂ O	656,11
--	---	-------------------------	--------

GALIO

Metal:			
Mín 99,99 %: lotes hasta 999 g ...	N	g	79,81
lotes de 1-4,999 kg ...	N	g	68,41
lotes de 5-24,999 kg ...	N	g	62,72
lotes de más de 25 kg ...	N	g	54,16
Mín 99,999 %: lotes de 5-10 kg ...	N	g	76,96

Menas y concentrados.

Las menas de esta sustancia no se cotizan en el mercado internacional, ya que todo el galio que se produce en el mundo, se obtiene como subproducto en los procesos de tratamiento de la bauxita y las menas de cinc.

Metales menores o escasos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
GERMANIO			
Metal:			
Calidad refinada 30 ohm/cm conductividad:			
En el mercado europeo ...	L	kg	11.996
En el mercado americano ...	N	kg	16.704
Menas y concentrados.			
El germanio metal se recupera generalmente en la fundición de las menas de plomo y cinc.			
HAFMIO			
Metal:			
Esponja ...	N	kg	9.114
En barras y placas laminadas ...	N	kg	15.085
Menas y concentrados.			
Las menas de hafmio no se comercializan, ya que todo el metal que se produce se obtiene separándolo del circonio después de la metalurgia de éste.			

INDIO

Metal:			
En barras, mín 99,97 % de pureza, en lotes de 100 troy on ...	L	g	3,76
En lingotes, mín 99,97 % de pureza, en lotes mínimos de 10.000 troy on ...	N	g	3,20

Menas y concentrados.

El indio metal se recupera generalmente en la fundición de minerales de cinc.**RENIO**

Metal:			
Polvo, mín 99,99 % Re ...	L	g	101,66

Menas y concentrados.

La producción mundial de renio se consigue como un subproducto recobrado a partir de las menas de molibdeno y de los porfidos cupríferos, obteniéndose el polvo metal en la metalurgia de los productos primarios.**RUBIDIO**

Metal:			
Mín. 99,5 %: lotes de 1-227 g ...	N	g	79,81-205,24
lotes de 1-9 lb ...	N	kg	34.570-37.713
lotes de 10-99 lb ...	N	kg	25.142-31.427
lotes de 100-999 lb ...	N	kg	18.856-21.999
lotes de 1.000 o más lb ...	N	kg	12.571

Menas y concentrados.

El rubidio producido se obtiene de la metalurgia del cesio y otras menas, por esta razón no se cotizan sus menas en el mercado.**SELENIO Y TELURO**

Metal, Selenio:			
Polvo grado comercial, mín 99/99,5 % Se ...	N	kg	1.131-1.257
De alta pureza, mín 99,9 % Se ...	N	kg	1.571

Metales menores o escasos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
Canadiense, mín 99,5 % Se, en lotes 100 lb	L	kg	1.257
Otras procedencias	L	kg	1.370-1.395
Metal. Teluro:			
Fragmentos y polvo, mín 99/99,5 % Te	L	kg	758,28
Barras, mín 99,5 % Te	L	kg	958,28
Polvo, en lotes de 100 lb	N	kg	754,26
Placas, en lotes de 150 lb	N	kg	754,26

Menas y concentrados.

No se comercializan las menas de selenio y teluro debido a que la totalidad del metal que se produce, se obtiene como subproducto en la metalurgia de otros metales como son cobre, níquel, plata, etc., no obstante existen minerales en los que aparecen conjuntamente pero que al no ser explotados para la obtención de estos metales, por la razón antes expuesta, no se pueden considerar como menas.

TALIO

Metal, en lotes de 25 lb	N	kg	942,83
--------------------------	---	----	--------

Menas y concentrados.

Las menas de este metal no se cotizan en el mercado, ya que todo el talio que se produce se obtiene en la mineralurgia de otras menas.

Minerales no metálicos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
AZUFRE			
USA para la exportación, mín 99 % S			
Brillante	N	t	1.459-1.571
Brillante sólido	L	t	1.291
Brillante líquido	L	t	1.683
Oscuro	N	t	1.403-1.515
Resto del mundo, líquido	L	t	1.515-1.627

BARITAS

En bruto:

Grado químico y para vidrio:

Escogido a mano, mín 95 % BaSO ₄ , máx 1 % Fe, en lotes de camiones	N	t	1.414-1.540
Magnéticas o de flotación, mín 96 % BaSO ₄ , máx 0,5 % Fe, en lotes de camiones	N	t	1.854-2.166

Molidas:

En húmedo, mín 95 % BaSO ₄ , a 325 mesh, en bolsas de 50 lb, en lotes de camiones	N	t	3.457-4.903
En seco, de grado para lodos, 83/93 % BaSO ₄ , 3/12 % Fe, 4,2/4,3 peso específico, en lotes de camiones	N	t	2.326-2.766

Micronizadas:

Mín 99 % más fino de 20 M	L	t	7.565-7.840
---------------------------	---	---	-------------

BORATOS

Decahidrato, granular, técnico, en bolsas de papel, en lotes de t	L	t	7.290
Pentahidratado, refinado, técnico, en bolsas de papel, en lotes de t	L	t	8.941

Minerales no metálicos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
Anhídrico, técnico, en bolsas de papel, en lotes de t.	L	t	10.316
Acido bórico, técnico granular en bolsas de papel, en lotes de t	L	t	10.591
Técnico, mín 99,5 %, en fragmentos, en lotes de camiones	N	t	3.740
Deshidrato, mín 99 %, en fragmentos, en lotes de camiones	N	t	6.883
Concentrados de boratos sódicos, en fragmentos, en lotes de camiones:			
46 % B ₂ O ₃	N	t	3.992
65 % B ₂ O ₃	N	t	5.720
Concentrados de borato cálcico, de Turquía, en fragmentos, mín 40 % B ₂ O ₃	L	t	1.653-1.767

CELESTITA

Reino Unido, en bruto, lavada y clasificada, 95 % SrSO ₄ , a granel, molido 240 mesh	L	t	3.026
---	---	---	-------

ESPATO FLUOR

Metalúrgico, mín 70 % CaF₂			
Reino Unido	L	t	2.031-2.708
USA en pellets	N	t CaF ₂ cont	3.734
Mejicano	N	t CaF ₂ cont	3.143
Cerámico, mín 85 % CaF₂:			
Reino Unido, molido 93/95 %	L	t	3.655-4.197
USA, 88/90 %	N	t CaF ₂ cont	4.320
95/96 %	N	t CaF ₂ cont	4.292-4.601
97 %	N	t CaF ₂ cont	4.482
Acido, material seco, mín 97 % CaF₂:			
Reino Unido, embolsado	L	t	4.332-5.144
USA, en bruto	N	t CaF ₂ cont	4.405-4.882
en pellets, 88 % cont. efectivo	N	t CaF ₂ cont	4.292
concentrados ácidos secos	N	t CaF ₂ cont	6.129
importado en Europa	N	t CaF ₂ cont	4.400
Mejicano a granel	N	t CaF ₂ cont	3.772-4.212

FOSFATOS

USA, molido, lavado, seco, a granel:

66/68 % BPL	N	t	817,12
68/70 % BPL	N	t	942,83
70/72 % BPL	N	t	1.025
74/75 % BPL	N	t	1.157
76/77 % BPL	N	t	1.282
Argelino y Turco, 65/68 % BPL	L	t	790,91-859,69
Australiano, 83 % BPL	L	t	971,40-1.133
Marroquí, 73 % BPL	L	t	1.100-1.307
Ruso, apatito concentrado, 39 % P ₂ O ₅	L	t	Nom

NOTA: BPL = Ca₃(PO₄)₂ = 0,458 % P₂O₅.

Minerales no metálicos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
GRAFITO			
Alemán	N	t	11.402-74.113
Madagascar	N	t	9.977-28.505
Noruego	N	t	6.841-11.402
Ceilán, sin diferenciar calidades	N	t	11.402-19.953
Fragmentos muy pesados, 97/99 % C	L	t	16.922
Fragmentos peso ordinario, 94/95 % C	L	t	14.215
90/92 % C	L	t	10.424
En pedacitos casi polvo, 97/98 % C	L	t	16.922
90/92 % C	L	t	10.424
80/83 % C	L	t	8.123
En pedacitos, 90/92 % C	L	t	10.424
80/83 % C	L	t	8.123
En polvo, 50/55 % C	L	t	4.738
Amorfo, 80/85 % C:			
Coreano, en bolsas	N	t	1.368
Mejicano, a granel	N	t	1.368
NITRATOS			
Sódico, o de Chile, mín 98 %, en lotes de 8 t	L	t	5.348
PIRITAS			
USA, 50/52 % S, a granel	N	t	251,44-314,30
Españolas, mín 48 % S (Río Tinto y Tharsis)	L	t	Nom
Portuguesas, mín 48 % C (Aljustrel y Louzal)	L	t	Nom
Resto de los países productores	L	t	627,11-798,14
POTASAS			
Cloruro de potasio, 60 % K ₂ O:			
Europa, standard, a granel	L	t	2.166-2.572
USA, standard	N	t. u. K ₂ O	40,23
Coarse	N	t. u. K ₂ O	44
Cloruro de potasio, 62 % K ₂ O:			
Canadiense:			
Standard	N	t. u. K ₂ O	21,37
Coarse	N	t. u. K ₂ O	23,26
Granular	N	t. u. K ₂ O	24,52
USA:			
Standard	N	t. u. K ₂ O	20,74-22
Standard	N	t. u. K ₂ O	27,03
Finos standard	N	t. u. K ₂ O	28,29
Coarse	N	t. u. K ₂ O	29,54
Coarse	N	t. u. K ₂ O	23,26-26,40
Granular	N	t. u. K ₂ O	23,89-27,03
Cloruro de potasio, 62/63 % K ₂ O:			
Canadiense, soluble	N	t. u. K ₂ O	22
USA, soluble	N	t. u. K ₂ O	22-23,26
Sulfato de potasio, 48/50 % K ₂ O, a granel	N	t. u. K ₂ O	Nom
SAL COMUN			
Sal de mina, machacada, en lotes, mín de 6 t	L	t	439,99
Sal de mina, machacada, en lotes, mín de 6 t, en bolsas de 50 kg	L	t	686,37
Sal de salina, en lotes, mín de 6 t, seca, en bolsas de 50 kg	L	t	1.099
Sal de salina, en lotes, mín de 6 t, a granel, sin secar.	L	t	848,68

Minerales no metálicos	Mercado	Unidad	Precio de septiembre
VERMICULITA			
USA	N	t	1.571-2.289
Sudáfrica:			
En crudo	N	t	2.514-3.143
En crudo, embolsada	L	t	1.194-1.383
WOLLASTONITA			
Para pinturas:			
P ₁ , 99,7 % menor 325 mesh	L y N	t	5.212
P ₄ , 99,95 % menor 325 mesh	L y N	t	5.686
Para cerámica:			
C ₁ , 96,5 % menor 325 mesh	L y N	t	5.144
C ₆ , 79,2 % menor 325 mesh	L y N	t	5.077
C ₁₀₁ , 2 % menor 200 mesh	L y N	t	5.010
Para mastique:			
F ₁ , 78 % menor 325 mesh	L y N	t	5.483

NOMENCLATURA (1)

CALIDAD

(n): Nominal, indica que al ser insuficiente en negocio, no sirve como base para una cuantificación real.

GIRM: Agrupación de importadores de metales.

MERCADO

L: Londres, base del mercado europeo.
 N: Nueva York, base del mercado americano.
 A: Australia.
 B: Bélgica.
 C: Canadá.
 F: Francia.
 G: Alemania del Oeste.
 I: Italia.
 J: Japón.
 SA: Sudáfrica.

UNIDAD

Troy on: onza troy=0,3110 g.
 lb: libra=0,4535 kg.
 t: tonelada métrica.

NOMENCLATURA (2)

st: tonelada corta=0,907 t.
 lt: tonelada larga=1,016 t.
 f: frasco=76 lb.
 picul.: picul=133,5 lb.
 tu "x": unidad de "x" contenido en una tonelada.
 stu "x": unidad de "x" contenido en una tonelada corta.
 ltu "x": unidad de "x" contenido en una tonelada larga.
 lb "x" cont.: libro de "x" contenido.
 kg "x" cont.: kg de "x" contenido.
 t "x" cont.: tonelada de "x" contenido.

PRECIO

(n): nominal, indica el nivel de precio probable, sin confirmación.
 n. a.: precio no disponible.

£: Libra Esterlina.
 \$: Dólar USA.
 \$ A: Dólar Australiano.
 \$ C: Dólar Canadiense.
 \$ M: Dólar Malayo.
 DM: Marco Alemán.

NOMENCLATURA (3)

F: Franco Francés.
 FB: Franco Belga.
 l: Lira Italiana.
 Rand: Rand Sudafricano.
 Yen: Yen Japonés.

FORMA DE ENTREGA

FOB: Franco a bordo, el vendedor asume todos los riesgos hasta que queda puesta la mercancía a bordo. Cuando aparece el nombre del puerto, el vendedor asume toda la responsabilidad hasta la puesta a bordo en ese puerto, caso de que el comprador quisiera la mercancía en otro puerto, es éste el que corre con los gastos.

FAS: Franco en el muelle de embarque.

FOT: Franco sobre camión.

CIF: El vendedor asume los gastos de la fórmula FOB más los gastos de seguro y flete hasta el puerto de destino.

CIF-E: CIF en puerto Europeo.

CIF-USA: CIF en puerto USA.

CIF-X: CIF en el lugar X.

D: Franco en el domicilio del comprador.

D-X: D en el lugar X, caso de que el comprador quisiera la mercancía en otro lugar correría con los gastos de traslado.

NOMENCLATURA (4)

e-w: ex warehouse=puesto en fábrica o almacén.
 p. e: libre de gastos hasta el punto de entrada en el país.
 f: fábrica.
 r: refinería.
 (e): aranceles de aduanas adicionales.
 (i): incluidos los aranceles de aduanas.

Información legislativa

PERMISOS DE INVESTIGACION Y CONCESIONES DE EXPLOTACION

"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
243	19611	10-X-73	Ind.	Se adjudican a "Continental Oil Company of Spain" cuatro permisos de investigación de hidrocarburos en Zona I.
243	19611	10-X-73	Ind.	Se adjudican a "Amoco España Exploración Company" dos permisos de investigación de hidrocarburos en la Zona I (Península).
243	19613	10-X-73	Ind.	Se resuelven los expedientes de solicitudes para la adjudicación de cuatro permisos de investigación de hidrocarburos en Zona I.
243	19613	10-X-73	Ind.	Se adjudican a "Arco Exploration Inc" cuatro permisos de investigación de hidrocarburos en Zona I.
243	19614	10-X-73	Ind.	Se adjudican a "Arco Exploration Inc" tres permisos de investigación de hidrocarburos en Zona I (Península).
243	19615	10-X-73	Ind.	OTORGAMIENTO a CAMPSA de tres permisos de investigación de hidrocarburos en la Zona I.
243	19616	10-X-73	Ind.	Se adjudican a "Ashland Petroleum España Inc" diez permisos de investigación de hidrocarburos en la Zona I.
243	19617	10-X-73	Ind.	Se aprueba el contrato de 13 de julio de 1970 de cesión de participaciones por "SEPE" a "ENPASA" y "ENPENSA" en diez permisos de investigación de hidrocarburos de Zona I.
247	19916	15-X-73	Ind.	CADUCIDAD de concesión de explotación minera, Delegación Provincial de Palencia.
248	19991	16-X-73	Ind.	CADUCIDAD del permiso de investigación minera citado, Delegación Provincial de Madrid.
248	19992	16-X-73	Ind.	CADUCIDAD del permiso de investigación minera citado, Delegación Provincial de Segovia.
249	20086	17-X-73	Ind.	OTORGAMIENTO de concesiones de explotación minera citadas, Delegación Provincial de Salamanca.
253	20419	22-X-73	Ind.	OTORGAMIENTO de permiso de investigación minera citado, de la Dirección General de Minas.
263	21147	2-XI-73	Ind.	OTORGAMIENTO de permisos de investigación citados, Delegación Provincial de Jaén.
263	21147	2-XI-73	Ind.	CADUCIDAD de permisos de investigación minera citados. Delegación Provincial de Murcia.
263	21147	2-XI-73	Ind.	CADUCIDAD de permisos de investigación minera citados, Delegación Provincial de Navarra.
268	21603	8-XI-73	Ind.	CANCELACION de la solicitud del permiso de investigación citado, Delegación Provincial de Oviedo.

"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
269	21687	9-XI-73	Ind.	OTORGAMIENTO de concesión de explotación minera citado, Delegación Provincial de Ciudad Real.
269	21687	9-XI-73	Ind.	CADUCIDAD de permisos de investigación citados, Delegación Provincial de Albacete.
269	21687	9-XI-73	Ind.	CADUCIDAD de permiso de investigación citado, Delegación Provincial de Navarra.
HIDROCARBUROS				
249	20069	17-X-73	Ind.	DECRETO por el que se adjudica a "Davis International Oil Corporation of Spain, Inc.", seis permisos de investigación de hidrocarburos en Zona I (Baleares).
249	20070	17-X-73	Ind.	DECRETO por el que se adjudica a "Coparex Española, S. A.", el permiso "Jaca", de investigación de hidrocarburos en la Zona I (Península).
249	20070	17-X-73	Ind.	DECRETO de resolución del expediente de solicitud del permiso de investigación de hidrocarburos "Mar".
249	20071	17-X-73	Ind.	DECRETO por el que se adjudican a la Asociación ENPASA-ENPENSA siete permisos de investigación de hidrocarburos.
249	20071	17-X-73	Ind.	DECRETO por el que se adjudica a "American Petrofina Exploration Company" (APEX) un permiso de investigación de hidrocarburos.
249	20072	17-X-73	Ind.	DECRETO por el que se aprueba el contrato entre "Tenneco", "Anadarko" y D.N.O. "España" de cesiones de participaciones en veinte permisos de investigación de hidrocarburos en Zona I (Península) y el convenio de colaboración entre dichas Entidades.
255	20539	24-X-73	Ind.	DECRETO de otorgamiento a "Texas Pacific Oil Company of Spain" de ocho permisos de investigación de hidrocarburos en Zona I.
255	20540	24-X-73	Ind.	DECRETO por el que se rectifica el Decreto 1798/1971, de 8 de julio, por el que se adjudica a "California Oil Company of Spain" un permiso de investigación de hidrocarburos en la Zona I (Península).
255	20540	24-X-73	Ind.	DECRETO por el que se adjudican a "Shell" y "CAMPSA", en calidad de Administradora del Monopolio de Petróleos, tres permisos de investigación de hidrocarburos en la Zona I (Península).
268	21601	8-XI-73	Ind.	CORRECCION de erratas del Decreto 2646/1973, de 28 de septiembre, por el que se adjudican a "Shell" y "Campsa", en calidad de administradora del Monopolio de Petróleos, tres permisos de investigación de hidrocarburos en la Zona I (Península).
RESERVAS				
238	19156	4-X-73	Ind.	ORDEN por la que se establece la reserva provisional a favor del Estado para toda clase de sustancias minerales, excluidos los radiactivos, carbón e hidrocarburos, en la zona de la provincia de Cáceres denominada "Subsector XI, área 1 (Sn-W/IV-2)".
256	20635	25-X-73	Ind.	ORDEN por la que se establece la reserva provisional a favor del Estado para investigación de toda clase de sustancias minerales, ex-

"B. O. E." NUMERO	PAGINA	FECHA	MINISTERIO	A S U N T O
				cluidos los hidrocarburos fluidos, en la "Zona Almadén", comprendida en las provincias de Ciudad Real, Córdoba y Badajoz.
256	20636	25-X-73	Ind.	ORDEN por la que se establece la reserva provisional a favor del Estado, para toda clase de sustancias minerales, exceptuados carbón e hidrocarburos, en la zona "Subsector I, Area I (Cu/I-1)", comprendida en la provincia de La Coruña.
276	22303	17-XI-73	Ind.	RESOLUCION por la que se hace pública la inscripción de la petición presentada por el Instituto Geológico y Minero de España para la declaración de una zona de reserva provisional a favor del Estado para todos los recursos minerales de la sección C), excluidos combustibles sólidos, hidrocarburos y minerales radiactivos, en el área que se indica, comprendida en las provincias de Castellón y Teruel.
V A R I O S				
252	20338	20-X-73	O. P.	Se concede a "Urbanizaciones y Hoteles Mediterráneos, S. A." (URHOMESA), un aprovechamiento de aguas subálveas de la riera Calonge, en término municipal de Calonge (Gerona).
252	20341	20-X-73	O. P.	Se concede a doña Soledad Rosell Cucurull un aprovechamiento de aguas subálveas del río Bruguent, en término municipal de Montreal (Tarragona), con destino a riegos.
260	20937	30-X-73	O. P.	Se concede a don Joaquín Llovet y hermanos un aprovechamiento de aguas subálveas del río Noya, en término municipal de Martorell (Barcelona).
260	20938	30-X-73	O. P.	Se concede un aprovechamiento de aguas subálveas del río Noya, en término municipal de Martorell (Barcelona).
260	20942	30-X-73	O. P.	Se concede a doña Asunción Munne Torrescasana un aprovechamiento de aguas subálveas de un torrente innominado, en término municipal de Castellolí (Barcelona), con destino a usos domésticos y de riego.
266	21404	6-XI-73	Ind.	LEGALIZACION y autorización otorgadas a la Comunidad de Aguas Benza de un alumbramiento de aguas subterráneas en el término municipal de Santa Ursula (Santa Cruz de Tenerife).
266	21404	6-XI-73	Ind.	AUTORIZACION concedida a la Comunidad de Aguas Las Cancelitas para continuar la perforación de una galería en un alumbramiento de aguas subterráneas.
269	21668	9-XI-73	O. P.	AUTORIZACION otorgada a la Comunidad de Aguas Los Barbazanos para continuar la perforación de una galería, en términos municipales de La Orotava y Santa Ursula (Santa Cruz de Tenerife).
269	21687	9-XI-73	Ind.	Se señala fecha para el levantamiento de actas previas a la ocupación de una parcela citada, Delegación Provincial de Vizcaya.
270	21768	10-XI-73	J. E.	DECRETO-LEY por el que se prorroga la prohibición temporal de alumbramiento de aguas subterráneas en determinadas zonas de la provincia de Almería.

Notas bibliográficas

GEOLOGIA

FRANÇOIS DEBON: *Massifs granitiques de Caunterets et Panticosa*. (Pyrénées occidentales). Orleans B.R.G.M., 1972, 38 págs., 3 láminas, 1 mapa.

La obra consta de una carta geológica a escala 1/50.000 tirada en 1971 y de su correspondiente memoria explicativa editada en 1972.

Los capítulos de la memoria son los siguientes: Introducción. Las formaciones sedimentarias ante graníticas (ordovicienses, gotlandienses, devónicas, carníferas). Consideraciones sobre la orogénesis Herciniana, Las migmatitas heterogéneas de Gavarnia. Las formaciones graníticas en sentido lato. El metamorfismo de contacto. Las formaciones filonianas intragraníticas. Las formaciones sedimentarias y volcánicas postgraníticas anteriores a la orogenia alpina. Consideraciones sobre la orogenia alpina. Bibliografía.

En las conclusiones da cuenta de la existencia de problemas múltiples en este macizo granítico, con soluciones muy hipotéticas para la mayor parte de ellos. Este modelo universal de Caunterets-Panticosa universalmente conocido, ofrece temas de estudio muy interesantes, propios de los investigadores amantes de la montaña alta.—L. DE A.

Conferencia sobre problemas de la tierra sólida. Vol. 11. Simposio sobre los resultados de las investigaciones del manto superior con énfasis en América Latina, Buenos Aires (Argentina).

En esta obra se reúnen las comunicaciones presentadas en la Conferencia que tuvo lugar en Buenos Aires del 26 al 31 de octubre de 1970. Se une a cada comunicación la discusión de que fue objeto.—L.

GUIRAUD, RENÉ: *Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du Bassin du Hodna et des régions voisines*. C.N.R.S.: A. O. 8603, 1973, 270 págs y 12 láminas.

Se trata de una tesis doctoral por la universidad de Niza. La primera parte la dedica al estudio estratigráfico y en ella considera los capítulos siguientes: El primario, el triás, el jurásico, el cretácico, el paleógeno, el neógeno y, el cuaternario.

La segunda parte la dedica a la tectónica, la cual la subdivide en capítulos por zonas geográficas de tectónica análoga.

A continuación dedica un capítulo a la dinámica de las aguas subterráneas y otro a un ensayo de síntesis geodinámica.

Al final de la publicación figura una biografía de las obras citadas en la tesis.—L. DE A.

CHAMPETIR, YVES: *Le Prébétique et l'Ibérique côtiers dans le Sud de la Province de Valence et le Nord de la Province d'Alicante (Espagne)*. C.N.R.S.: A.O. 6326 diciembre 1972, 170 págs. y 3 láminas.

Se trata de una tesis doctoral de la Universidad de Nancy.

La primera parte está dedicada a un planteamiento del estudio.

La segunda la dedica a la estratigrafía y paleogeografía, dividida en los capítulos siguientes: Trías; Lías; Dogger; Malm; Neocomiense; Barremiense, Aptiense y Albinense; Cretácico superior; Eoceno; Mioceno: resumen paleogeográfico.

La tercera parte se ocupa de la tectónica, para lo cual considera; la Prebética; la zona de interferencia entre la Prebética y la Ibérica, la Ibérica. Al final establece unas conclusiones tectónicas.

Completa el trabajo una bibliografía. L. DE A.

BULARD, PIERRE-FRANCOIS: *Le Jurassique moyen et supérieur de la Chaîne Ibérique sur la bordure du Bassin de l'Ebre (Espagne)*. C.N.R.S. A.O. 7095, dos volúmenes, 354 págs. y 38 ilustr. Junio 1972.

Se trata de una tesis por la Universidad de Nice. La obra está dividida en los capítulos siguientes: 1. El Sur de la cadena Catalana. 2. El NE del Maestrazgo. 3. El N del Maestrazgo. 4. El NW del Maestrazgo. 5. La meseta de Arcos. 6. De Belchite a Aguilón. 7. El S del Moncayo. 8. El oriente del Moncayo. 9. El W del Moncayo. 10. El S de la Sierra de los Cameros. 11. El oriente de la Sierra de los Cameros. 12. N y NW de la Sierra de los Cameros.

Establece tres grupos de conclusiones: I. Los elementos de la paleogeografía. II. Fisionomía de los estados sucesivos. III. La regresión calloviense. La tranagresión oxfordiense.

Completa la obra una bibliografía amplia y tres índices: toponímico, sistemático y de autores.—L. DE A.

PETROLOGIA

RITTMANN, A.: *Asociaciones minerales estables de rocas ígneas. Un método de calculación*. Minerales, Rocas y Materiales Inorgánicos. Series monográficas de estudios teóricos y experimentales. Editores: Engelhardt, Hahn, Roy, Wyllie. Volumen 7. Con aportaciones de Gottini, Hewers, Pichler, Stengelín. 85 figs., XIV, 262 págs. 1973. En tela. Berlín, Heidelberg, Nueva York: Editorial Springer. ISBN 3-540-06030-8.

Esta obra de fundamental importancia en Petrografía, la debemos al profesor Dr. Alfred RITTMANN, Director del Instituto Internacional de Vulcanología de Catania, al pie del volcán Etna, en la isla de Sicilia. Han colaborado en ella varios petrólogos, italianos y alemanes, principalmente.

El prólogo está redactado por TH. G. SAHAMA, de Helsinki (Finlandia). Según nos dice el autor, la obra de Alfred RITTMANN es el resultado de más de treinta años de estudio. Las relaciones entre la composición química y mineralógica de las rocas ígneas demuestra la extrema complejidad de este problema, que ha llevado a RITTMANN a establecer un nuevo método de calculación normativa. Resulta así una tendencia hacia la mejor interpretación de los análisis mineralógicos de las rocas ígneas.

A este prólogo sigue un capítulo de gracias del profesor RITTMANN a cuantos han contribuido a la realización de la obra con sus propias aportaciones.

La obra está dividida en diez capítulos. El I es la Introducción, que comprende los siguientes temas: 1: Métodos anteriores de cálculo. 2: Nomenclatura de las rocas volcánicas. 3: Sistemática de las rocas volcánicas. 4: Calculación de las asociaciones minerales estables. 5: Ventajas del conocimiento de las asociaciones minerales estables.

El capítulo II, Facies de las rocas ígneas, comprende los siguientes temas: 1: Estabilidad de los minerales ígneos. 2: Concepto de facies mineral. 3: Las facies volcánica y subvolcánica. 4: Las facies plutónica. 5: Las facies Carbonatita. 6: Minerales estables de varias facies. 7: Facies mixtas.

El capítulo III trata de los principios básicos de la calculación. El tema I estudia la unidad de la calculación. El 2 trata del número de los átomos. El 3, del grado de oxidación. El 4, de la formación de la Magnetita. El 5, de la norma saturada, el cual comprende tres apartados: a) calculación de los componentes ocasionales; b) de los accesorios; c) de los silicatos saturados.

El capítulo IV trata de los minerales integrantes de las rocas ígneas, distribuidos en 13 grupos.

El capítulo V trata del uso de las tablas que contienen las claves.

El capítulo VI estudia el heteromorfismo y la Sistemática (Rocas heteromórficas, rocas plutónicas, nomenclatura de los tipos magmáticos).

El capítulo VII establece la comparación entre las asociaciones de minerales estables y los modos y comprende los siguientes apartados: Errores analíticos, omisiones, alteración secundaria, determinación cuantitativa del modo, efecto de enmascaramiento, determinación óptica del feldespato más frecuente, presencia de fases metastables.

El capítulo VIII abarca las claves 1 a 6 de calculación, que se detallan a continuación.

El Capítulo IX contiene 12 ejemplos de aplicación del método propuesto por RITTMANN.

El capítulo X es el Apéndice, en donde se describen las claves de calculación en diversos tipos de rocas (sili-

catos muy alterados, ultramáficas, de facies eclogita, etc.). En la parte final de este capítulo se encuentran las tablas 21 a 26, que contienen los símbolos, números de átomos, abreviaturas, pesos moleculares, etc.

La comparación entre las normas antiguas (C.I.P.W.) (CROSS, IDDINGS, PIRSSON, WASHINGTON) que data del año 1903, y la propuesta por RITTMANN es objeto de un capítulo especial, redactado por VIOLETA GOTTINI.

Otro capítulo especial es el destinado al estudio del llamado Programa ALGOL (abreviatura de Lenguaje algorítmico, a cargo de los profesores HEWERS y STENGELIN, de la Universidad de Tübingen. Otro capítulo, dedicado a los problemas en donde encuentra su aplicación el método RITTMANN, está expuesto por los profesores PICHLER y STENGELING, de la misma Universidad.

La Bibliografía y el Índice de materias completan esta obra.—J. G. DE LL.

RECURSOS NATURALES

DEANE, R. A.: *Side-looking radar systems and their potential application to earth-resources surveys-Basis physics and technology*. ESRO CR-136, 116 págs., abril 1973.

Se describen en este informe los principios físicos y tecnológicos de los sistemas de radar lateral con apertura real y sintética, particularmente desde el punto de vista de sus aplicaciones al estudio de los recursos terrestres. Se considera la instalación y el funcionamiento del radar a bordo de una aeronave y de un satélite, para la observación de terreno inerte y de objetos en movimiento. En la introducción recuerda la influencia de la atmósfera y de las reflexiones del suelo sobre las hiperfrecuencias.—L. DE A.

ORHAUG, T.: *Passive microwave radiometry and its potential applications to earth resources surveys-Microwave emissions from natural materials*. ESRO. DR 74, 68 páginas, mayo 1973.

Se resume la teoría de la generación de ruido térmico y microondas por cuerpos sólidos y gaseosos. Es objeto de un estudio profundo, la influencia de las diversas propiedades de los materiales, en particular el caso de un cuerpo conductor brillante que permite aplicar el coeficiente de Fresnel para predecir las propiedades de brillancia. Se trata del efecto y las características del ruido atmosférico y da ejemplos de observaciones con microondas de ruido atmosférico. Examina las propiedades de difusión de un objeto con superficie rugosa, pone la atención sobre los límites a los cuales llega el análisis teórico. Examina también la generación de ruido por las superficies rugosas. Considera el efecto de la polarización de las superficies brillantes y rugosas, lo mismo que la influencia del ruido atmosférico. Se consideran los efectos del ruido térmico causados por la heterogeneidad de la superficie subyacente y por la desigualdad de recaldeo con el tiempo. Resume los programas y experiencias realizadas hasta

la fecha y formula recomendaciones para los trabajos futuros.—L. DE A.

QUIMICA MINERAL

HIRCO, BERNARD: *Determination de traces d'elements en spectrophotometrie d'absorption atomique par "la technique du filamente"*. CEA-R-4436, 40 págs. 1973.

Describe el autor la célula de absorción y estudia los parámetros principales: consumo de argón en la célula, temperatura del filamento del manantial de atomización, geometría de la célula, naturaleza del filamento. Aplica la técnica a la valoración de impurezas en el uranio, después de su deposición sobre filamento de carbón. Completa la comunicación con un estudio de la fidelidad del procedimiento.—L. DE A.

GEONUCLEONICA

TOBAILEM, JACQUES DE LASSUS ST-GENIES, CHARLES HENRI.

REEVES, HUBERT: *Formation de l'aluminium 26 par le rayonnement cosmique*. CEA-R-4441, 16 págs., 1973.

El interés astrofísico del ^{26}Al se debe a su semiperíodo radiactivo de $7,16 \cdot 10^6$ a., que permite seguir las variaciones de la radiación cósmica galáctica, la velocidad de sedimentación en los océanos, las anomalías de la primitiva cronología solar por la composición isotópica del manganeso. El trabajo en curso tiene por objetivo seguir la producción de ^{26}Al por el bombardeo de muestras de magnesio, aluminio, silicio y hierro. Las funciones de excitación fueron medidas por diferentes tipos de espectros de radiación cósmica encontrados en astrofísica. Parece ser, que en el espacio interestelar, se produce el ^{26}Al principalmente a partir del silicio; por el contrario, en el bombardeo por rayos cósmicos solares del gas solar primitivo la mayor generación procede de magnesio; análogamente ocurre por el bombardeo de la materia meteorítica por los rayos cósmicos solares y galácticos.—L. DE A.

CONTAMINACION

JEAN FAURE: *Role de la matiere organique d'un cours d'eau vis-a-vis de la pollution radioactive. Influence des conditions d'extraction sur le practionnement. Aomportement des elements chimiques vis-a-vis de la matiere organique*. Rapport CEA-R-4443, 54 págs. 1973.

La comparación de los tres métodos de extracción con la ayuda de soluciones de sosa de normalidades respectivas 10^{-1} , 10^{-2} y $10,5 \cdot 10^{-3}$ N, permiten comprobar que la segunda presenta una eficacia prácticamente tan elevada como la primera, mientras que la tercera es netamente de eficacia inferior.

Los fraccionamientos por cromatografía sobre gel, parecen llevar una prueba de la degradación de sustancias orgánicas extraídas por la sosa 10^{+1} N y por las resinas

cambiadoras de iones, lo que conduce al autor a aconsejar la utilización de sosa 10^{-2} N.

Los diversos radioelementos estudiados, y puestos en contacto con el sedimento, antes de la catiación de la materia orgánica, permite clasificar los elementos de la clasificación periódica en grupos, según sus afinidades para las sustancias orgánicas del sedimento estudiado. Es así que el grupo de los elementos de transición aparecen como el más reactivo frente a sus sustancias. Los elementos de otros grupos de la clasificación, presentan mucho menor interés en los estudios de contaminación relativos a la materia orgánica, lo que era previsible en razón de su débil posibilidad de complexación.

Según el autor, este trabajo, le permite formular algunas hipótesis sobre la estructura de la materia orgánica.—L. DE A.

DUPOUX, NICOLE: *Variations de l'aerosol atmosferique en fonction des caracteristiques du milieu*. CEA-R-446, 39 págs. 1973.

Estudia la influencia de ciertos parámetros locales sobre la evolución en función del tiempo de la concentración, del radio medio y de la carga del aerosol atmosférico—el grado de contaminación, influencia del nivel de la concentración y la rapidez de su evolución—la aparición durante el curso de la jornada, de partículas neutras ultrafinas en el aire, se manifiesta por un aumento de la concentración y una disminución del radio medio y de la carga del aerosol atmosférico. Este fenómeno, parece tener relación con la presencia simultánea de SO_2 en el aire y de la radiación solar, por su acción favorable a la concentración o al contrario a la dispersión de los contaminantes. Cierta número de otros fenómenos meteorológicos (lluvia, niebla, inversión de temperatura, carencia de viento) tienen una acción análoga sobre las características del aerosol atmosférico.—L. DE A.

ARTHUR, N. STRAHLER y ALAN H. STRAHLER: *Environmental geoscience: Interaction between natural systems and man*. Santa Bárbara (California), 1973, 511 págs.

Los autores insisten en la necesidad de considerar, los sistemas y los procesos naturales de la tierra y sus consecuencias en relación al hombre. Dedicar una atención especial a los recursos naturales, a su origen y localización y a las consecuencias de su utilización. Se interesan en los aspectos esenciales de las interacciones entre los organismos y su medio físico en la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera. En toda la obra siguen un criterio basado sobre el sistema energético, consistente en examinar y analizar los flujos energéticos y de materia en el interior de sistemas energéticos abiertos y entre ellos. Es interesante el número elevado de problemas del medio tratados en la obra, analizando los fundamentales de la biosfera presentes bajo una forma simple.

Algunos críticos han hecho la observación de no considerarse en la obra las contaminaciones producidas por el ruido y la guerra nuclear.—L. DE A.

INDICE DE MATERIAS

	Página
GEOLOGIA	
Estudio geomorfológico del extremo oriental de la cadena San Vicente-Peña de Cenicientos, por J. DE PEDRAZA GILSANZ	1
Rasgos sedimentológicos y geomorfológicos del sistema de terrazas del río Henares, en la zona de Alcalá-Azuqueca (nota preliminar), por A. PÉREZ GONZÁLEZ e I. ASENSIO AMOR	15
El Cretáceo del flanco oriental del Cabo Peñas (Asturias), por F. RADIG	23
Nota preliminar sobre el contenido faunístico y edad del Cámbrico de Zafra y Alconera (Badajoz), por M. ^a D. GIL CID	26
Los goniatites del Devónico superior y del Carbonífero de los Pirineos Occidentales de España, por J. KULLMANN	93
Colmatación de la Depresión interandina de Uspallata (Argentina), por F. FERNÁNDEZ RUBIO y J. A. PÉREZ AZUARA	101
Nuevos hallazgos de Progenetta montadai en el Mioceno de Cataluña, por M. CRUSAFONT PAIRO y J. M. ^a GOLPE POSSE	105
Diapiric and gravity tectonics in the Pre-Betic (Sierra Bernia) of south-east Spain, por FRANK MOSELEY	114
Cartografía geológica del Terciario y Cuaternario de Valladolid, por F. J. GARCÍA ABBAD y J. REY SALGADO	213
Consideraciones sobre el aspecto representativo de los "Cortes o perfiles geológicos", por J. A. MARTÍNEZ ALVAREZ	228
El Pérmico de la Región Atienza-Somolinos (provincia de Guadalajara), por S. HERNANDO	231
Sobre la posibilidad de un efecto combinado de compresión-distensión como causa del origen del Manto del Montsec (vertiente meridional pirenaica), por A. GARRIDO-MEGÍAS	303
Discordancia erosiva de Mina Peñoncillo en el Bético de Málaga, Marbella, por V. PASTOR GÓMEZ y V. CRESPO LARA	312
El Cretácico de la depresión mesoterciaria central de Asturias, por M. GUTIÉRREZ CLAVEROL	314
Los terrenos infraordovícicos de la antiforma de Martinamor (Salamanca), por E. MARTÍNEZ GARCÍA y J. NICOLAU	407
Observaciones sobre la Geología del Sector Alcaraz-Robledo (Zona Prebética, provincia de Albacete), por J. LINARES GIRELLA y T. RODRÍGUEZ ESTRELLA	419
Estudio geoestructural de los afloramientos metamórficos del norte de la provincia de Avila, por R. CAPOTE	426
Programa de computador para el cálculo granulométrico por medio del análisis con el hidrómetro, por A. MALDONADO, O. RIBA y R. SOLE	438

	Página
MINERIA	
Trabajo de Investigación de Pb-Zn en la reserva de "Loma Charra", en la provincia de Soria, por J. REY DE LA ROSA	32
Estado actual de la investigación de criaderos del Suroeste de España, por J. DOETSCH y colaboradores	105
Estudio de concentración de los caolines de la mina "María José", por J. M. ^a FERNÁNDEZ BECERRIL y R. ALVAREZ RODRÍGUEZ	127
Mercado del mineral de hierro, por DIVISIÓN DE MINERÍA DEL IGME	137
Contribución al estudio de menas, magnéticas del Suroeste de España. Minas de Cala (Huelva), por J. DOETSCH y J. J. ROMERO	236
Mercado de minerales y concentrados de Wolframio, por DIVISIÓN DE MINERÍA DEL IGME	354
Perspectiva actual de las mineralizaciones de níquel en las rocas ultrabásicas de Málaga, por V. PASTOR GÓMEZ y A. SERENO GIL	324
Mercado de la barita, por DIVISIÓN DE MINERÍA DEL IGME	329
Investigación del níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis, por M. J. AGUILAR, V. CRESPO y J. L. REYES: I parte. Geología y Cartografía. M. J. AGUILAR, A. APARICIO, J. M. FUSTER, M. MUÑOZ y J. SAGREDO: II parte. Petrografía y Petrogénesis	447
Exploración de las posibilidades níquel-líferas en los macizos ultrabásicos de la provincia de Málaga, por A. SERENO GIL	473
AGUAS SUBTERRANEAS	
Estudio Hidrogeológico y de Ordenación del Campo de Níjar, Almería. Exposición de los trabajos realizados y de sus conclusiones, por J. OCHOA, I. DÍAZ DE BERRICANO y P. ARMISEN	44
Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Duero, por J. PORRAS MARTÍN	336
ENERGIA	
Programa de investigaciones petrolíferas ante las futuras necesidades de hidrocarburos, por J. CANTOS FIGUEROLA	130
GEOTECNIA	
Evolución histórica de los Mapas Geotécnicos en el mundo, por M. ECHEVARRÍA CABALLERO	55
Aportación al conocimiento de las relaciones entre el comportamiento mecánico y cualidades estructurales (petro y micro) de rocas del yacimiento de Reocín (Santander), por J. A. MARTÍNEZ ALVAREZ y A. PEÓN	152
Estudio radiográfico-estructural de muestras de las "arcillas negras", del Cretácico inferior de los alrededores de Oviedo, por J. A. MARTÍNEZ ALVAREZ y F. BEA	264
GEOFISICA	
Resultados del estudio geofísico, por el método magnético, de una cuadrícula situada en El Toril, Azuaga (Badajoz), por F. ESTEBAN SATISTEBAN	141
GEOQUIMICA	
Aplicación de la informática a la construcción de diagramas Eh-pH de estabilidad mineralógica, por L. SANTOMA	156

	Página
Análisis de los mecanismos físico-químicos que condicionan la modificación de las rocas de la corteza terrestre por la acción de las aguas meteóricas, por A. ERASO ROMERO	488
ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS	
Estudio de la alteración de unas biotitas procedentes de la Sierra de Guadarrama, por A. HOYOS DE CASTRO y P. ARÉVALO	162
Hallazgo del mineral Triplita en la mina "Beatriz", situada en el término de La Peña (Salamanca), por R. ALVAREZ RODRÍGUEZ, A. ILARRI JUNQUERA y J. A. MARTÍN RUBI	171
Interpretación petroestructural del comportamiento del mármol de Gualba (Barcelona) bajo compresión uniaxial, por M. MONTOTO y J. ORDAZ	157
Los piroxenos de las rocas de la serie alcalina. El caso de los piroxenos del volcán Teneguía, La Palma (Islas Canarias), por J. LÓPEZ RUIZ	268
Contribución al estudio mineralógico de los depósitos de Talco de Puebla de Lillo (León, España), por E. GALÁN-HUERTOS y M. RODAS	347
Estudio mineralógico de la piromorfita de Horcajo (Ciudad Real), por A. CABALLERO, M. DOUVAL y J. M. MARTÍN POZAS	504

INDICE DE AUTORES

	Página
AGUILAR, M. J.; CRESPO, V.; REYES, J. L.; APARICIO, A.; FUSTER, J. M.; MUÑOZ, M., y SAGREDO, J.: Investigación del níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis. I parte: Geología y Cartografía. II parte: Petrografía y Petrogénesis	447
ALVAREZ RODRÍGUEZ, R., y FERNÁNDEZ BECERRIL, J. M. ^a : Estudio de concentración de los caolines de la mina "María José"	127
ALVAREZ RODRÍGUEZ, R.; ILARRI JUNQUERA, A., y MARTÍN RUBI, J. A.: Hallazgo del mineral Triplita en la mina "Beatriz", situada en el término de La Peña (Salamanca)	171
APARICIO, A.; AGUILAR, M. J.; CRESPO, V.; REYES, J. L.; FUSTER, J. M.; MUÑOZ, M., y SAGREDO, J.: Investigación del níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis. I parte: Geología y Cartografía. II parte: Petrografía y Petrogénesis	447
AREVALO, P., y HOYOS DE CASTRO, A.: Estudio de la alteración de unas biotitas procedentes de la Sierra de Guadarrama	162
ARMISEN, P.; OCHOA, J.; DÍAZ DE BERRICANO, I.: Estudio Hidrogeológico y de Ordenación del Campo de Níjar, Almería. Exposición de los trabajos realizados y de sus conclusiones	44
ASENSIO AMOR, I., y PÉREZ GONZÁLEZ, A.: Rasgos sedimentológicos y geomorfológicos del sistema de terrazas del río Henares, en la zona de Alcalá-Azuqueca. (Nota preliminar.)	15
BEA, F., y MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A.: Estudio radiográfico-estructural de muestras de las "arcillas negras", del Cretácico inferior de los alrededores de Oviedo	264
CABALLERO, A.; DOUVAL, M., y MARTÍN POZAS, J. M.: Estudio mineralógico de la piromorfita de Horcajo (Ciudad Real)	504
CANTOS FIGUEROLA, J.: Programa de investigaciones petrolíferas ante las futuras necesidades de hidrocarburos	130
CAPOTE: Estudio Geoestructural de los afloramientos metamórficos del norte de la provincia de Avila	426
CRESPO LARA, V., y PASTOR GÓMEZ, V.: Discordancia erosiva de Mina Peñoncillo en el Bético de Málaga, Marbella	312
CRESPO, V.; AGUILAR, M. J.; REYES, J. L.; APARICIO, A.; FUSTER, J. M.; MUÑOZ, M., y SAGREDO, J.: Investigación del níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis. I parte: Geología y Cartografía. II parte: Petrografía y Petrogénesis	447
CRUSAFONT PAIRO, M., y GOLPE POSSE, J. M. ^a : Nuevos hallazgos de Progenetta montadai en el Mioceno de Cataluña	105
DÍAZ DE BERRICANO, I.; OCHOA, J., y ARMISEN, P.: Estudio Hidrogeológico y de Ordenación del Campo de Níjar, Almería. Exposición de los trabajos realizados y de sus conclusiones	44

	Página
DIVISIÓN DE MINERÍA DEL IGME: Mercado del mineral de hierro	137
DIVISIÓN DE MINERÍA DEL IGME: Mercado de la barita	329
DIVISIÓN DE MINERÍA DEL IGME: Mercado de minerales y concentrados de Volframio	354
DOETSCH, J., y colaboradores: Estado actual de la investigación de criaderos del Suroeste de España	105
DOETSCH, J., y ROMERO, J. J.: Contribución al estudio de menas, magnéticas del Suroeste de España. Minas de Cala (Huelva)	236
DOUVAL, M.; CABALLERO, A., y MARTÍN POZAS, J. M.: Estudio mineralógico de la piromorfita de Horcajo (Ciudad Real)	504
ECHEVARRÍA CABALLERO, M.: Evolución histórica de los Mapas Geotécnicos en el mundo	55
ERASO ROMERO, A.: Análisis de los mecanismos físico-químicos que condi- cionan la modificación de las rocas de la corteza terrestre por la acción de las aguas meteóricas	488
ESTEBAN SATISTEBAN, F.: Resultados del estudio geofísico, por el método mag- nético, de una cuadrícula situada en El Toril, Azuaga (Badajoz)	141
FERNÁNDEZ BECERRIL, J. M. ^a , y ALVAREZ RODRÍGUEZ, R.: Estudio de concen- tración de los caolines de la mina "María José"	127
FERNÁNDEZ RUBIO, F., y PÉREZ AZUARA, J. A.: Colmatación de la depresión interandina de Uspallata (Argentina)	101
FRANK MOSELEY: Diapiric and gravity tectonics in the Pre-Betic (Sierra Bernia) of south-east Spain	114
FUSTER, J. M.; AGUILAR, M. J.; CRESPO, V.; REYES, J. L.; APARICIO, A.; MUÑOZ, M., y SAGREDO, J.: Investigación del níquel en los macizos ultra- básicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis. I parte: Geología y Cartografía. II parte: Petrografía y Petrogénesis	447
GALÁN-HUERTOS, E., y M. RODAS: Contribución al estudio mineralógico de los depósitos de Talco de Puebla de Lillo (León, España)	347
GARCÍA ABBAD, F. J., y REY SALGADO, J.: Cartografía geológica del Terciario y Cuaternario de Valladolid	213
GARRIDO MEGÍAS, A.: Sobre la posibilidad de un efecto combinado de compresión- distensión como causa del origen del Manto del Montsec (vertiente meridional pirenaica)	303
GIL CID, M. ^a D.: Nota preliminar sobre el contenido faunístico y edad del Cámbrico de Zafra y Alconera (Badajoz)	26
GOLPE POSSE, J. M. ^a , y CRUSAFONT PAIRO, M.: Nuevos hallazgos de Progenetta nontadai en el Mioceno de Cataluña	105
GUTIÉRREZ CLAVEROL, M.: El Cretácico de la depresión mesoterciaria central de Asturias	314
HERNÁNDO, S.: El Pérmico de la región Atienza-Somolinos (provincia de Gua- dalajara)	231
HOYOS DE CASTRO, A., y AREVALO, P.: Estudio de la alteración de unas bio- titas procedentes de la Sierra de Guadarrama	162
LLARRI JUNQUERA, A.; ALVAREZ RODRÍGUEZ, R., y MARTÍN RUBI, J. A.: Hallaz- go del mineral Triplita en la mina "Beatriz" situada en el término de La Peña (Salamanca)	171
KULLMANN, J.: Los goniatites del Devónico superior y del Carbonífero de los Pirineos Occidentales de España	93
LINARES GIRELLA, J., y RODRÍGUEZ ESTRELLA, T.: Observaciones sobre la Geo- logía del Sector Alcaraz-Robledo (Zona Prebética, provincia de Albacete).	419

	Página
LÓPEZ RUIZ, J.: Los piroxenos de las rocas de la serie alcalina. El caso de los piroxenos del volcán Tenegía, La Palma (Islas Canarias)	268
MALDONADO, A.; RIBA, O., y SOLE, R.: Programa de computador para el cálculo granulimétrico por medio del análisis con el hidrómetro	438
MARTÍN RUBI, J. A.; ALVAREZ RODRÍGUEZ, A., e LLARRI JUNQUERA, A.: Hallaz- go del mineral Triplita en la mina "Beatriz", situada en el término de La Peña (Salamanca)	171
MARTÍN POZAS, J. M.; CABALLERO, A., y DOUVAL, M.: Estudio mineralógico de la piromorfita de Horcajo (Ciudad Real)	504
MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A., y PEÓN, A.: Aportación al conocimiento de las relaciones entre el comportamiento mecánico y cualidades estructurales (petro y micro) de rocas del yacimiento de Reocín (Santander)	152
MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A.: Consideraciones sobre el aspecto representativo de los "Cortes o perfiles geológicos"	228
MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A. y BEA, F.: Estudio radiográfico-estructural de mues- tras de las "arcillas negras", del Cretácico inferior de los alrededores de Oviedo	264
MARTÍNEZ GARCÍA, E., y NICOLAU, J.: Los terrenos infraordovícicos de la anti- forma de Martinamor (Salamanca)	407
MONTOTO, M., y ORDAZ, J.: Interpretación petroestructural del comportamiento del mármol de Gualba (Barcelona) bajo compresión uniaxial	157
MUÑOZ, M.; AGUILAR, M. J.; CRESPO, V.; REYES, J. L.; APARICIO, A.; FUSTER, J. M., y SAGREDO, J.: Investigación del níquel en los macizos ultra- básicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis. I parte: Geología y Cartografía. II parte: Petrografía y Petrogénesis	447
NICOLAU, J., y MARTÍNEZ GARCÍA, E.: Los terrenos infraordovícicos de la anti- forma de Martinamor (Salamanca)	407
OCHOA, J.; DÍAZ DE BERRICANO, I., y ARMISEN, P.: Estudio Hidrogeológico y de Ordenación del Campo de Níjar, Almería. Exposición de los trabajos realizados y de sus conclusiones	44
ORDAZ, J., y MONTOTO, M.: Interpretación petroestructural del comportamiento del mármol de Gualba (Barcelona) bajo compresión uniaxial	157
PASTOR GÓMEZ, V., y CRESPO LARA, V.: Discordancia erosiva de Mina Peñon- cillo en el Bético de Málaga, Marbella	312
PASTOR GÓMEZ, V., y SERENO GIL, A.: Perspectiva actual de las mineraliza- ciones de níquel en las rocas ultrabásica de Málaga	324
PEDRAZA GILSANZ, J.: Estudio geomorfológico del extremo oriental de la cade- no San Vicente-Peña de Cenicientos	1
PEÓN, A., y MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A.: Aportación al conocimiento de las rela- ciones entre el comportamiento mecánico y cualidades estructurales (petro y micro) de rocas del yacimiento de Reocín (Santander)	152
PÉREZ AZUARA, J. A., y FERNÁNDEZ RUBIO, F.: Colmatación de la Depresión interandina de Uspallata, (Argentina)	101
PÉREZ GONZÁLEZ, A., y ASENSIO AMOR, I.: Rasgos sedimentológicos y geomor- fológicos del sistema de terrazas del río Henares, en la zona de Alcalá- Azuqueca. (Nota preliminar.)	15
PORRAS MARTÍN, J.: Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Duero	336
RADIG, F.: El Cretáceo del flanco oriental del Cabo Peñas (Asturias)	23
REY DE LA ROSA, J.: Trabajo de Investigación de Pb-Zn en la Reserva de "Loma Charra" en la provincia de Soria	32

	Página
REY SALGADO, J., y GARCÍA ABBAD, F. J.: <i>Cartografía Geológica del Terciario y Cuaternario de Valladolid</i>	213
REYES, J. L.; AGUILAR, M. J.; CRESPO, V.; APARICIO, A. FUSTER, J. M.; MUÑOZ, M., y SAGREDO, J.: Investigación del níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis. I parte: Geología y Cartografía. II parte: Petrografía y Petrogénesis	447
RIBA, O.; MALDONADO, A., y SOLE, R.: Programa de Computador para el cálculo granulométrico por medio del análisis con el hidrómetro	438
RODAS, M., y GALÁN-HUERTOS, E.: Contribución al estudio mineralógico de los depósitos de Talco de Puebla de Lillo (León, España)	347
RODRÍGUEZ ESTRELLA, T., y LINARES GIRELLA, J.: Observaciones sobre la Geología del Sector Alcaraz-Robledo (Zona Prebética, provincia de Albacete) ...	419
ROMERO, J. J., y DOETSCH, J.: Contribución al estudio de menas, magnéticas del Suroeste de España. Minas de Cala (Huelva)	236
SAGREDO, J.; AGUILAR, M. J.; CRESPO, V.; REYES, J. L.; APARICIO, A.; FUSTER, J. M., y MUÑOZ, M.: Investigación del níquel en los macizos ultrabásicos de Málaga. Nuevos datos sobre geología y petrogénesis. I parte: Geología y Cartografía. II parte: Petrografía y Petrogénesis	447
SANTOMA, L.: Aplicación de la informática a la construcción de diagramas Eh-pH de estabilidad mineralógica	156
SERENO GIL, A., y PASTOR GÓMEZ, V.: Perspectiva actual de las mineralizaciones de níquel en las rocas ultrabásicas de Málaga	324
SERENO GIL, A.: Exploración de las posibilidades níquel-líferas en los macizos ultrabásicos de la provincia de Málaga	473
SOLE, R.; MALDONADO, A., y RIBA, O.: Programa de Computador para el cálculo granulométrico por medio del análisis con el hidrómetro	438

PREMIO DE PERIODISMO

“SANTA BARBARA”

CONVOCATORIA PARA 1973

EL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA convoca el premio «SANTA BARBARA» para 1973, con el objeto de galardonar a los escritores y periodistas que mejor hayan divulgado y valorado en la prensa, radio y televisión, de lengua española, la importancia de «LA INVESTIGACION DEL SUBSUELO EN LA ECONOMIA ESPAÑOLA».

El premio estará dotado con **100.000** pesetas.

Para optar al premio se precisa que el trabajo se haya publicado, radiado o televisado, durante el año en curso.

Quedan excluidas entre las revistas, aquellas que sean técnicas y entre los autores quienes pertenezcan al IGME.

Los aspirantes al premio deberán presentar por triplicado el correspondiente artículo, impreso, en cinta grabada o en película cinematográfica, en el Instituto Geológico y Minero de España, antes del 31 de enero de 1974.

La decisión del Jurado es inapelable, pudiendo declarar desierto el premio, y sus decisiones se dan por aceptadas por cuantos se presenten al concurso.

El fallo tendrá lugar en los primeros meses del año 1974.

Ríos Rosas, 23

M A D R I D - 3

NORMAS PARA LOS AUTORES

3

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 abonar la diferencia.

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.