

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**boletín**

**geológico**

**y minero**

VOLUMEN 105

Noviembre - Diciembre 1994

NUMERO 6



REVISTA BIMESTRAL DEL ITGE FUNDADA EN 1874

ISSN 0366 - 0176

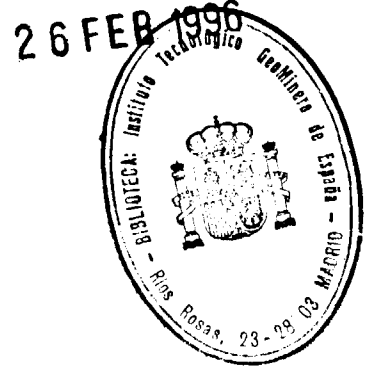


Volumen 105

Número 6

Noviembre - Diciembre 1994

# boletín geológico y minero



revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas fundada en 1874 - 5.ª serie

## Sumario

<b>Geología</b>	J. M. CORREIA ROMÃO: Litoestratigrafía e tectónica do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico (CXG)), entre o rio Ponsul e rio Erges Beira Baixa (Portugal) ... .. 3
<b>Minería</b>	J. BRANDÃO, A. RIBEIRO, J. T. OLIVEIRA, J. M. PIÇARRA y A. ARAUJO: Thin skinned model for the Ossa Morena Zone ... .. 13
<b>Aguas subterráneas</b>	R. URBANO: Exploración minera de yacimientos de oro por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) ... .. 19
<b>Ingeniería geoambiental</b>	J. TRILLA y J. ESTALRICH: Evaluación de la fiabilidad de la gestión de un acuífero ... .. 32
<b>Rocas industriales y ornamentales</b>	J. M. MURILLO DIAZ: Efecto de la colmatación en la estimación de la vida útil de una instalación de recarga artificial ... .. 39
<b>Estudio de minerales y rocas</b>	P. RAMIREZ OYANGUREN y R. LAIN HUERTA: Presente y futuro de las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos ... .. 48
<b>Información</b>	M. A. GARCIA DEL CURA, S. ORDOÑEZ, E. DAPENA y J. A. GONZALEZ MARTIN: Las canteras de calizas de los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: Valoración de recursos ... .. 56
	M. LAGO, E. ARRANZ, A. POCOVI, R. VAQUER y A. GIL-IMAZ: Petrología y geoquímica de los basaltos calco-alcalinos, Autuniense, de Ojos Negros (Cadena Ibérica Oriental, Teruel) ... .. 73
	L. M.ª RIOS ARAGÜES, J. M. CHARLET y F. BODEGA BARAHONA: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XL Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1994» ... .. 82
	Noticias ... .. 84
	Libros ... .. 86
	Indice de materias ... .. 90
	Indice de autores ... .. 94

**DIRECCION Y ADMINISTRACION**  
Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid  
Teléf./Fax (91) 349 57 62

**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
GEOMINERO DE ESPAÑA**

**MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA**  
Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales

El Instituto Tecnológico Geominero 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 Tecnológico Geominero de España.  
Queda hecho el depósito que marca la Ley.

#### EXPLICACION DE PORTADA

Formación conglomerática del Eoceno Superior  
(Borde SE. de la Depresión del Ebro)

Foto: J. Rubio Navas

Depósito legal: M. 3.279 - 1958  
ISSN 0366 - 0176  
NIPO 241 - 94 - 001 - 4

Imprenta Ideal, S. L. - Chile, 27 - Telef. 359 57 55 - 28016-MADRID

## Litoestratigrafía e tectónica do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico (CXG)), entre o rio Pônsul e rio Erges, Beira Baixa (Portugal).

por J. M. CORREIA ROMÃO (\*)

### RESUMEN

La cartografía geológica del Grupo das Beiras (Complejo Esquisto-Grauváquico) en la región comprendida entre los ríos Pônsul y Erges ha permitido identificar las formaciones de Malpica do Tejo y de Rosmanihal. Estas unidades han sido definidas y caracterizadas en términos litoestratigráficos y sedimentológicos, procurando determinar sus variaciones laterales y verticales.

El estudio estructural puso de manifiesto la fase de deformación sarda y las fases de la orogenia varisca. La fase sarda generó pliegues en caja con ejes subhorizontales de orientación NE-SO y vergencia predominante hacia el SE y, a veces, hacia el NO. La deformación varisca generó dos fases, siendo la primera fase (F<sub>1</sub>) la más importante y penetrativa. La estructura viene caracterizada por pliegues de orientación ONO-ESE, cuyo plano axial es subparalelo a la esquistosidad regional. La superposición de los plegamientos anteriores originó estructuras de interferencia, entre las cuales se analizan las de Medronheira y Fervedouro.

*Palabras clave:* Formación de Malpica do Tejo, Formación de Rosmanihal, Deformación sarda y varisca, Estructuras de interferencia.

### RESUMO

A cartografia geológica da região entre o rio Pônsul e o rio Erges permitiu identificar as formações de Malpica do Tejo e de Rosmanihal no Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico). As unidades foram definidas e caracterizadas em termos litoestratigráficos e sedimentológicos, procurando-se ter uma visão da sua variação vertical e lateral.

O estudo estrutural colocou em evidência a fase de deformação sarda e as fases da orogenia varisca. A fase sarda gera *box-fold* com eixos subhorizontais, de orientação NE-SW e vergência predominante para SE e, por vezes, para NW. A deformação varisca produz duas fases, sendo a 1.ª fase (F<sub>1</sub>) a mais importante e penetrativa. É caracterizada por dobras de plano axial subparalelo à clivagem regional, de orientação WNW-ESE. A sobreposição dos dobramentos anteriores origina estruturas de interferência, das quais serão analisadas as da Medronheira e do Fervedouro.

*Palavras-chave:* Formação de Malpica do Tejo, Formação de Rosmanihal, Deformação sarda e varisca, Estruturas de interferência.

### ABSTRACT

Geological mapping of the region between Pônsul and Erges rivers allowed the identification of the Malpica do Tejo and Rosmanihal Formations, on the Beiras Group (Complexo Xisto-Grauváquico). These units were defined in lithostratigraphic and sedimentological terms and vertical and lateral time-stratigraphic variations were also visualized.

The structural study showed clearly two main deformation phases, i.e. sardic and variscan. The sardic phase generated NE-SW trending box-folds, with subhorizontal axes and dominant vergence to SE and, sometimes, to NW. The variscan deformation consist of two folding phases, of which the first one (F<sub>1</sub>) is the most important and penetrative. This's characterized by WNW-ESE trendy folds with associated vertical cleavage subparallel to the axial planes of the folds. Superposition of sardic and variscan folds originated interference patterns, of which the Medronheira and Fervedouro strutures are analysed.

*Key words:* Malpica do Tejo Formation, Rosmanihal Formation, Sardic and variscan deformation, Fold interference patterns.

(\*) Serviços Geológicos de Portugal. Rua da Academia das Ciências, 19 - 2.º. 1200 Lisboa.

## 1. INTRODUÇÃO

Enquadrado no projecto *Estudo estratigráfico e estrutural do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG)*, dos S.G.P. realizámos cartografia geológica na região Centro-Oriental do território português. Esta região situa-se na Zona Centro-Ibérica do Maciço Hespérico, limitada pelo rio Tejo, a sul, pelo rio Erges, a este, pelas povoações de Segura e do Ladoeiro, a norte e pelo rio Pônsul, a oeste.

Nery DELGADO (1905) estudou pela 1.ª vez os metassedimentos do CXG da região, que designou por *Mancha da Beira*, constituída por xistos argilosos, finos a macios, a este de Idanha-Nova, e grauvaques xistóides cinzentos, muitos finos, entre Zebreira e Segura.

Em 1951, Décio THADEU elaborou o esboço geológico e a estrutura tectónica das cristas quartzíticas da região da Beira Baixa.

TEIXEIRA (1981) descreveu a existência de xistos e grauvaques com intercalações de leitos delgados de conglomerados, nos quais sobressaem fragmentos de líditos no Arraial da Poupa (Rosmaninhal).

SILVA et al. (1988) apresentaram uma geotransversal no CXG, que passaram a designar por Grupo das Beiras, entre os sinclínios de Mação e Penha Garcia, na qual identificaram e caracterizaram as formações de Malpica do Tejo, Rosmaninhal e de Perais.

No presente trabalho são descritas em pormenor, nomeadamente, no ponto de vista litológico e sedimentar as formações de Malpica do Tejo e Rosmaninhal.

São ainda abordadas, as fases de deformação varisca e a fase posicionada no limite câmbrio-ordovícico (sarda) que afectam as unidades anteriores. A sobreposição da fase sarda com a 1.ª fase varisca origina estruturas de interferência, como por exemplo as da Medronheira e do Fervedouro, as quais representam as primeiras estruturas deste tipo cartografadas e caracterizadas em Portugal.

## 2. GEOLOGIA REGIONAL

Na região estudada ocorrem depósitos de cober-

tura de idade Cenozóica, quartzitos armoricanos do Ordovícico inferior, metassedimentos do Grupo das Beiras (CXG) do Precâmbrico superior-Câmbrico e rochas ígneas e filoneanas (fig. 1). Os sedimentos cenozóicos estão preservados em bacias tectónicas alongadas na direcção NE (bacia de Moraleja-Ródão) e ENE (bacia de Cegonhas Novas-Segura).

A Formação do Quartzito Armoricano aflora em núcleos de sinclinais variscos, de orientação geral NW-SE, constituídos por conglomerados, quartzitos e xistos escuros.

Sob a unidade anterior ocorrem, em discordância angular, metassedimentos do Grupo das Beiras (CXG). Neste foram identificadas, da base para o topo, as formações de Malpica do Tejo e de Rosmaninhal.

As rochas ígneas presentes constituem os plutonitos de Castelo Branco, Zebreira e de Segura, todos de idade varisca (FERREIRA et al., 1987).

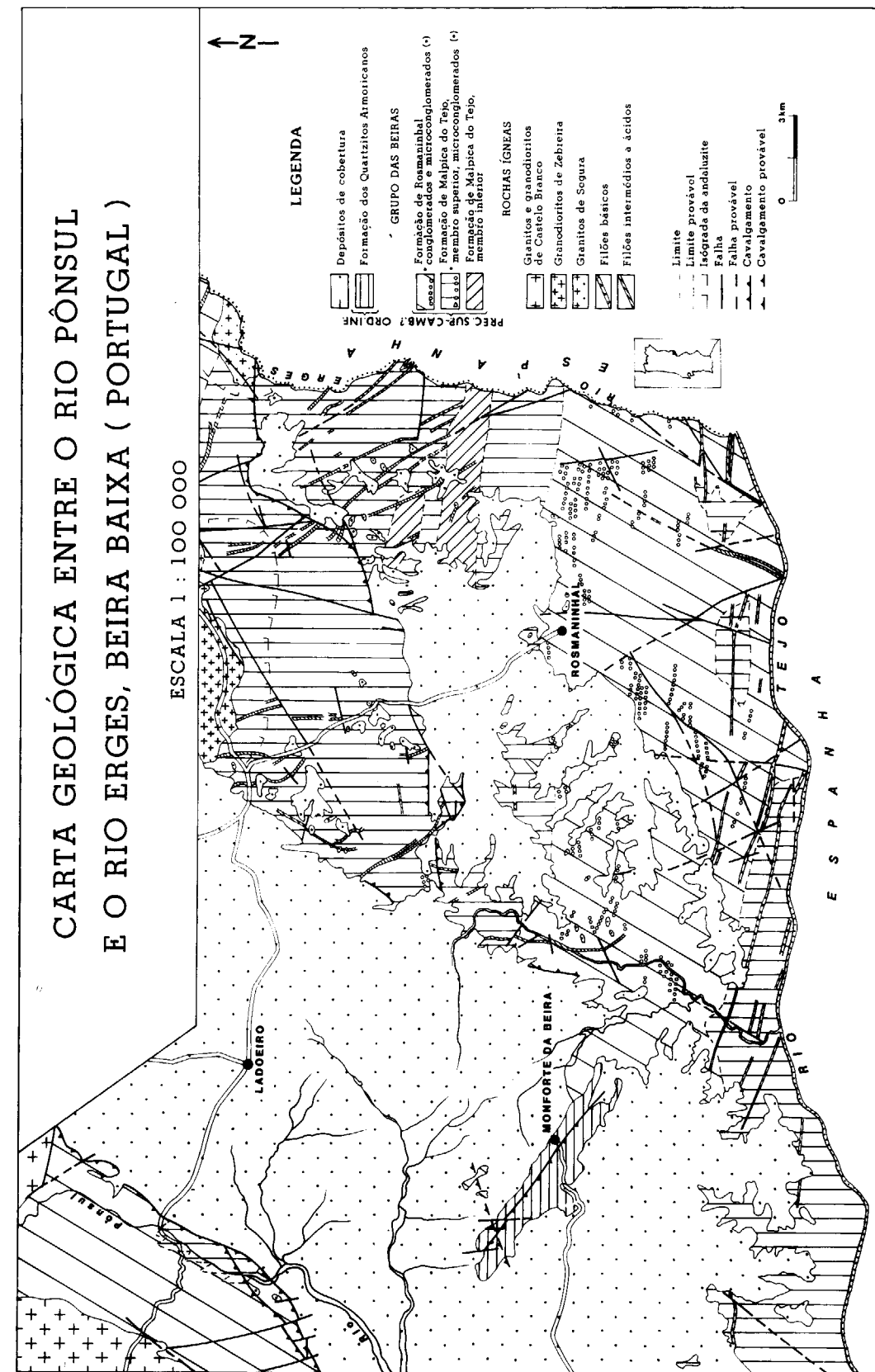
A região também é recortada por densa rede filoneana de natureza básica e intermédia a ácida. Incluem-se no grupo básico, os gabros e microgabros de orientação WNW-ESE associados ao 2.º episódio distensivo tardi-varisco (RIBEIRO et al., 1979) e os lamprófiros instalados num cisalhamento direito, varisco, de orientação N25-30W.

O grupo de filões ácidos a intermédios apresenta orientações diferenciadas, condicionadas pelos alinhamentos estruturais dominantes, associados aos plutonitos de Zebreira e Segura.

## 3. LITOESTRATIGRAFIA

A Formação de Malpica do Tejo é caracterizada genericamente por forte predominância de grauvaques em relação aos pelitos. Foi possível identificar dois membros: o inferior e o superior.

O Membro inferior é formado por uma sequência constituída por alternâncias milimétricas a centimétricas de pelitos de cor cinzenta e siltitos, por vezes com intercalações de bancadas de grauvaques com espessuras que podem atingir 0.5 metro. Este membro apresenta espessura cerca de 150 a 200 metros e passa gradualmente ao superior pelo aumento da espessura e da frequência das bancadas de grauvaques



O Membro superior é constituído por sequências decamétricas de bancadas de grauvaques com intercalações de siltitos e pelitos. Este membro assenta em continuidade sobre o membro inferior da Formação de Malpica do Tejo e passa gradualmente à Formação de Rosmaninhal com o aparecimento, cada vez com maior frequência, de bancadas pelíticas e siltíticas e horizontes conglomeráticos a microconglomeráticos de espessura centimétrica (10 a 30 cm).

A Formação de Rosmaninhal é caracterizada por possuir constituição fortemente pelítica. Intercaladas nesta sequência fina ocorrem barras de grauvaques e numerosos níveis de microconglomerados e de conglomerados de espessura variável (30 a 700 cm). Esta formação transita gradualmente, e para o topo, à Formação de Alameda (fig. 2), com composição ainda mal conhecida, e que aflora a NW da área estudada.

Não é possível defenir com rigor a espessura das unidades atrás referidas, sendo certo que as formações de Malpica do Tejo e de Rosmaninhal têm ambas espessuras superiores a 1000 metros.

#### 4. SEDIMENTOLOGIA

Nas unidades do Grupo das Beiras anteriormente estabelecidas foram reconhecidas fácies sedimentares bastante diversificadas. As terminologias utilizadas na sua caracterização são as descritas por MUTTI & LUCHI (1974 e 1975), LOWE (1982) e OLIVEIRA (1988).

No Membro inferior da Formação de Malpica do Tejo foram identificadas fácies turbidíticas finamente estratificadas (D e E) e turbiditos clássicos do tipo C. No Membro superior para além destas, foram reconhecidas, em maior número, fácies onde a sequência de Bouma não é aplicável, nomeadamente as fácies B, E e S. As bancadas de grauvaques que ocorrem nas fácies de características mais proximais apresentam frequente amalgamação, elevada relação areia/argila, clastos de argila no interior das bancadas e geometria lenticular. Na parte intermédia do Membro superior da Formação de Malpica do Tejo efectuou-se o *log* sedimentar do Couto das Amoreiras com 44 metros de comprimento (fig. 3), o qual deve ser simplesmente conside-

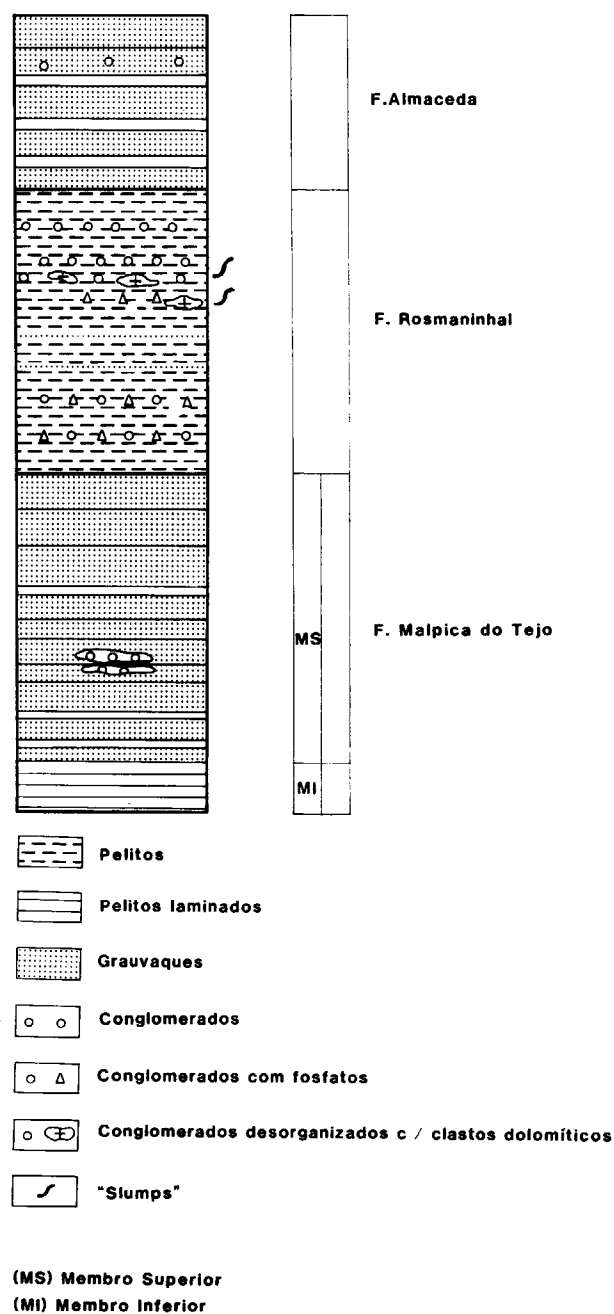


Figura 2.—Coluna litoestratigráfica esquemática do Grupo das Beiras.

rado como um exemplo da organização sedimentológica da unidade. Neste reconheceram-se, particularmente, as subfácies S1, S2 e S3 (LOWE, 1982), na parte inferior, e as subfácies C2 e D1+D3, na parte superior.

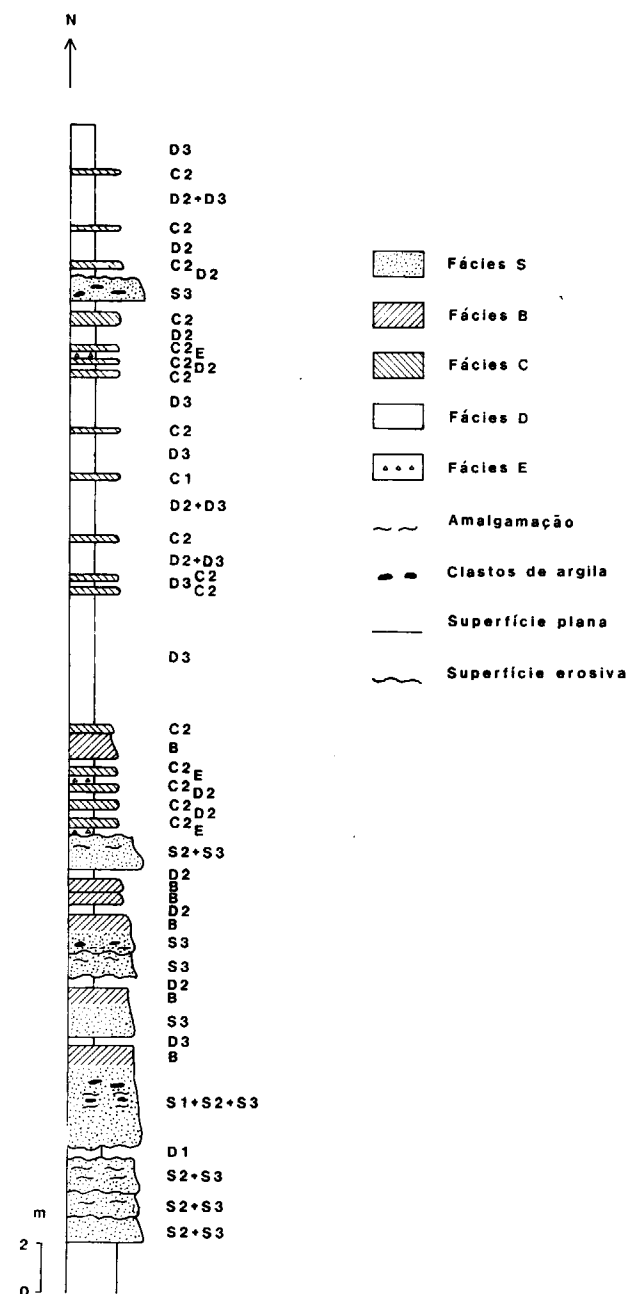


Figura 3.—Distribuição das fácies no *log* sedimentar do Couto das Amoreiras, no Membro superior da Formação de Malpica do Tejo.

As fácies pelíticas finamente estratificadas que caracterizam o Membro inferior da Formação de Malpica do Tejo, na Medronheira e rio Erges, tendem a desaparecer para ocidente, nos rios

Aravil e Pônsul, onde predominam sequências decamétricas de bancadas de grauvaques (Membro superior).

O conjunto constituído pelo Membro inferior e Membro superior parece corresponder a uma enorme megassequência negativa, com predomínio de fácies pelíticas na base e psamíticas no topo.

A Formação de Rosmaninhal é caracterizada por possuir principalmente turbiditos clássicos com larga predominância das fácies finamente estratificadas. Contudo, também ocorrem fácies onde a sequência de Bouma não é aplicada, particularmente as fácies conglomeráticas e as fácies G. No topo da Formação de Rosmaninhal efectuou-se o *log* sedimentar entre o ribeiro da Raiz e a ribeira Velha numa extensão de 22 metros (fig. 4). Neste *log* reconheceram-se as subfácies A1, C2, D2 e D3. Tal como o *log* anterior, este deve ser unicamente interpretado como um exemplo elucidativo da sedimentologia desta formação.

As fácies conglomeráticas (A) ocorrem em grande número nesta unidade, sob a forma de conglomerados organizados (A1) e desorganizados (A2). Os conglomerados do tipo A1 são de matriz arenosa, com clastos bem rolados e calibrados, por vezes brechóides, de dimensão milimétrica a centimétrica, de natureza diversa: quartzos, liditos, grauvaques, etc. Apresentam espessura de cerca de 30 a 150 centímetros, geometria canalizada, por vezes gradação normal a inversa e passam gradualmente a microconglomerados ou/e a grauvaques.

Os conglomerados desorganizados (A2) são de matriz siltítica a pelítica, com clastos angulosos a subangulosos bastante mal calibrados, de dimensão variável entre centimétrica a quase métrica e composição diversa: quartzos, liditos, grauvaques, pelitos como ou sem fosfatos, calcários, rochas felsíticas, etc. Os fosfatos ocorrem também na matriz dos conglomerados e, por vezes, como clastos isolados e os liditos apresentam, normalmente, estruturação sedimentar interna visível macroscopicamente. Estes conglomerados com geometria lenticular e topos irregulares tem espessuras variáveis entre 1 e 7 metros.

As fácies G estão associadas a escorregamentos gravíticos. Nestas fácies ocorrem estruturas sin-



de Várzeas). Por vezes, ocorrem afloramentos de dimensão métrica com planos de clivagem ( $S_1$ ) bem visíveis, onde as lineações  $L_1$  formam dobras de charneira aguda, com eixos subhorizontais de direcção NE e vergência quer para NW, quer para SE.

Associados aos dobramentos sardos ocorrem filonetes de quartzo de espessura centimétrica a milimétrica afectados fortemente pela 1.ª fase varisca (cortados pela clivagem primária), que podem corresponder a fendas de tracção e/ou ao resultado de soluções sob pressão, quando se originaram os dobramentos sardos. Os filonetes de quartzo foram agrupados em várias famílias com as seguintes direcções: N-S, N20-30E, N60-80E e N20-25W. Estas orientações são conjugadas entre si e devem corresponder a fendas de tracção que se desenvolveram paralelamente, ou a valores próximos de 45°, aos eixos das dobras em caixa. A presença de filões de quartzo de idade sarda sugere que esta deformação tenha chegado a produzir clivagem de fractura por solução por pressão, cuja existência não foi, no entanto, ainda evidenciada de modo irrefutável. A sobreposição do dobramento varisco às dobras anteriores sardas origina estruturas de interferência, por vezes, difíceis de detectar. No en-

tanto, como as dobras sardas são do tipo *box-fold*, com duas superfícies axiais nas zonas mais superficiais evoluindo em profundidade para uma única superfície axial (fig. 7-B), e de vergência variáveis para NW ou SE, as geometrias serão do tipo I e II de RAMSAY & HUBER (1987).

O desenvolvimento da cartografia permitiu identificar algumas estruturas de interferência, nomeadamente as da Medronheira e do Fervedouro. Na estrutura da Medronheira está instalado o membro inferior da Formação de Malpica do Tejo (pelitos laminados), que está envolvido pelos grauvaques da mesma formação (fig. 8-A). Corresponde a uma estrutura antiformal resultante da interferência entre um anticlinal sardo, de vergência para ESE, e várias dobras mesoscópicas variscas. Na fig. 8-B apresenta-se um corte esquemático paralelo á clivagem primária ( $S_1$ ) para se evidenciar as estruturas sardas em caixa. Quando se efectua a projecção das lineações de intercepção ( $L_1$ ) num plano de clivagem  $S_1$ , verifica-se que as suas flutuações reflectem os dobramentos sardos (fig. 8-C).

A estrutura do Fervedouro consiste num núcleo de grauvaques da Formação de Malpica do Tejo no seio da Formação de Rosmaninhal (fig. 9-A).

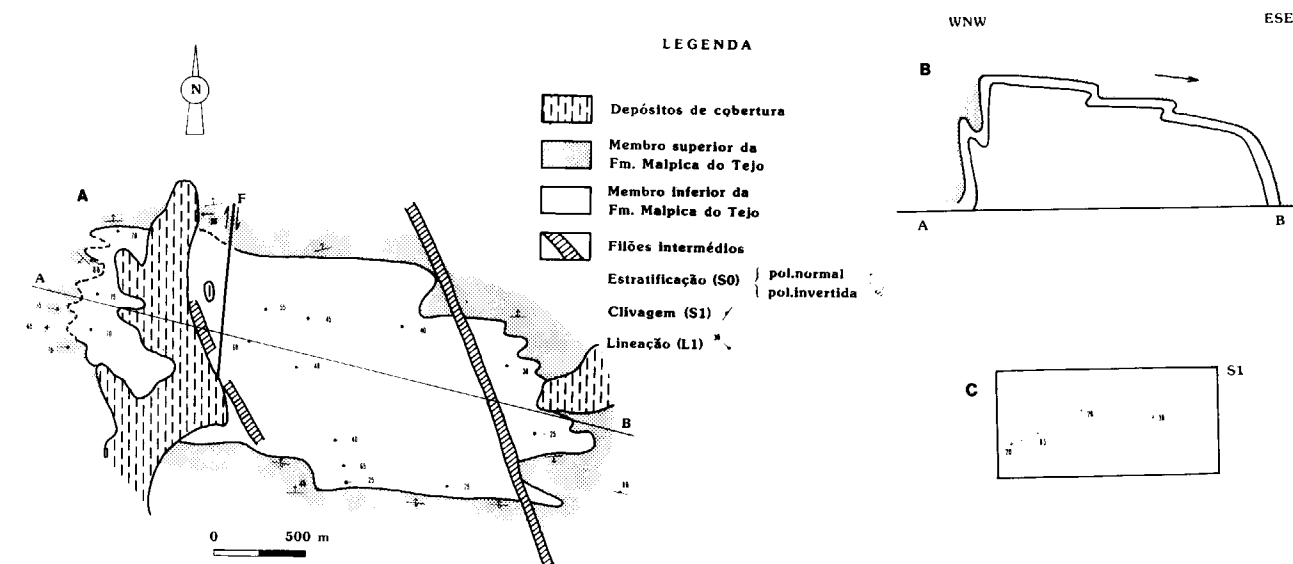


Figura 8.—Estrutura de interferência da Medronheira.

A) Esboço geológico da região da Medronheira.

B) Corte esquemático paralelo à clivagem primária ( $S_1$ ).

C) Projecção das lineações de intercepção ( $L_1$ ) no plano de clivagem primária ( $S_1$ ).

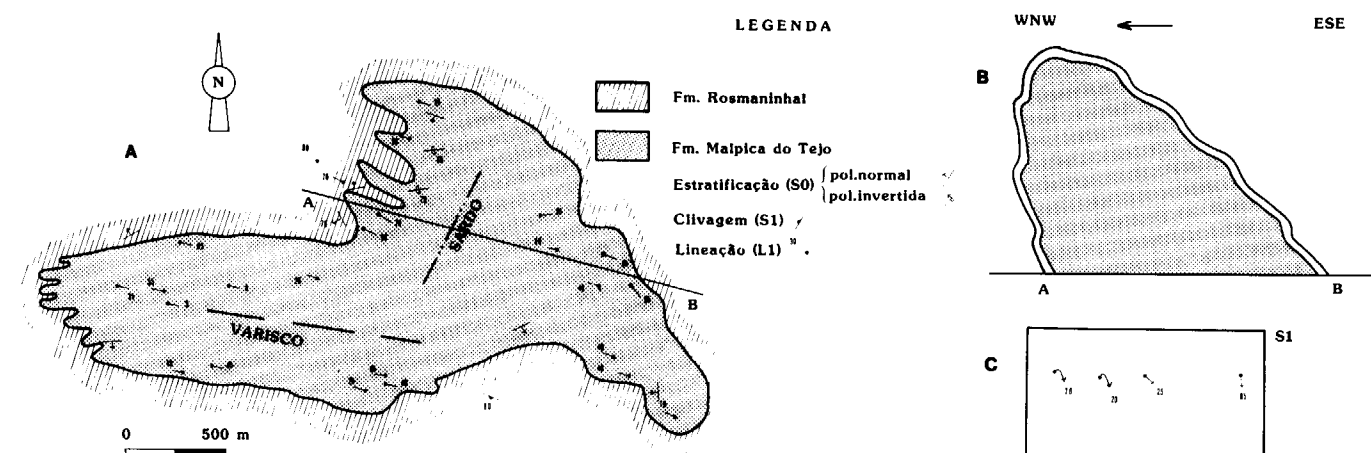


Figura 9.—Estrutura de interferência do Fervedouro.

A) Esboço geológico da região do Fervedouro.

B) Corte esquemático paralelo à clivagem ( $S_1$ ).

C) Projecção das lineações de intercepção ( $L_1$ ) no plano de clivagem primária ( $S_1$ ).

Esta estrutura antiformal é originada a partir da interferência dum anticlinal sardo de flanco NW invertido e vergência WNW com numerosas dobras variscas, evidenciadas pelos contornos da própria estrutura. Na fig. 8-B é apresentado o anticlinal sardo através do corte esquemático paralelo á clivagem  $S_1$ . Quando se projecta as lineações  $L_1$  desta estrutura num plano de clivagem  $S_1$ , evidencia-se que as lineações inclinam predominantemente para SE, quer as de flanco normal quer as de flanco invertido.

## 6. CONCLUSÕES

Na região cartografada, o Grupo das Beiras (CXG) é constituído pelas formações de Malpica do Tejo e de Rosmaninhal. A Formação de Malpica do Tejo parece possuir genericamente fácies com características proximais e a de Rosmaninhal parece apresentar, em relação às anteriores, fácies mais distais. A presença de fosfatos na Formação de Rosmaninhal, sob a forma de clastos isolados, ou incluídos nos clastos pelíticos e grauvaquicos, ou na própria matriz dos conglomerados, pode estar relacionada com fenómenos de *upwelling*, o que sugere proximidade do talude continental.

Os metassedimentos do CXG, Grupo das Beiras foram deformados pela fase posicionada no limite câmbrico-ordovicíco (sarda) e pelas fases da

orogenia varisca. A fase sarda, de orientação SW-NE, tende a desaparecer nos níveis estruturais inferiores, o que indica uma génese muito superficial. A 1.ª fase varisca ( $F_1$ ) gera dobras a várias escalas com orientação NW-SW a WNW-ESE de clivagem de plano axial. A sobreposição dos dobramentos originados pela fase sarda e pela  $F_1$  varisca produz estruturas de interferência de geometria padronizada do tipo I e II de RAMSAY & HUBER (1987). A 2.ª fase varisca ( $F_2$ ) é caracterizada principalmente por uma lineação de crenulação nos planos de clivagem primária com *pitch* variando entre 55-85 para SE. A fracturação tardi-varisca estão ligados os sistemas conjugados NNE-SSW a ENE-WSW, sinestro e NNW-SSE a NW-SE, dextros, bem como os *kinks* de orientação N-S a NNE-SSW e as fracturas preenchidas por gabros e microgabros de direcção ESE-WNW.

## 7. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos colegas Tomás de Oliveira e A. Ribeiro os ensinamentos e o acompanhamento durante os levantamentos geológicos, e a leitura crítica do manuscrito.

A cartografia geológica foi realizada com a colaboração dos auxiliares de geologia A. Brito, do S.F.M. e A. Esperancinha, dos S.G.P., aos quais agradeço.

À Secção de Desenho dos S. G. P. exprimo os meus agradecimentos pela preparação das figuras inseridas no texto, em particular à Dulce Nogueira.

#### REFERÊNCIAS

DELGADO, J. F. N. (1905): *Contribuições para o estudo dos terrenos Paleozóicos*. Comunic. Serv. Geol. Port., 6.

FERREIRA, N.; IGLESIAS, M.; NORONHA, F.; PEREIRA, & RIBEIRO, A. e RIBEIRO (1987): *Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico*. Geol. Granit. R. Assoc. M. H., Ed. Rueda, 37-52.

LOWE, D. R. (1982): *Sediment gravity flows: II Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents*. Jour. Sedi. Petrol., vol. 52, 279-297.

MUTTI, E. & RICCI LUCCHI, L. (1974): *La significación de certaines unités sequenciales dans les séries à turbidites*. Boll. Soc. Geol. France, XVI, 6, 557-582.

MUTTI, E. & RICCI LUCCHI, L. (1975): *Turbidite facies and facies associations*. In: Examples of turbidites facies and facies associations from selected formations of the northern Apennines, 21-36. IX Cong. Inter. Sedim. Nice, Field Trip A-11.

OLIVEIRA, T. (1988): *Estratigrafia, Sedimentologia e Estrutura do flysch da Formação de Mértola, na região de Mértola*. Comu. Serv. Geol. Portugal, t. 74, 3-20.

OLIVEIRA, T. (1988): *Contribuição para o conhecimento da evolução tectónico-estratigráfica da Zona Sul Portuguesa em Portugal*. Tese de doutoramento, Lisboa.

RAMSAY, J., & HUBBER, M. (1987): *The techniques of modern structural geology*. Folds and Fractures, vol. 2, 319. London.

RIBEIRO, A.; ANTUNES, M.; FERREIRA, P.; ROCHA, R.; SOARES, A.; ZBYSZEWSKI, G.; MOITINHO DE ALMEIDA, F.; CARVALHO, D. & MONTEIRO, H. (1979): *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serv. Geo. Port., Lisboa.

ROMÃO, J. (1987): *Relatório dos levantamentos geológicos nas cartas 194 (Zebreira-Sul) e 295 (Segura)*. Projecto «Faixa Góis-Segura». Serv. Fom. Min., 25.

ROMÃO, J. (1990): *Geologia da região compreendida entre o rio Erges e a serra do Moradal*. Relatório interno dos Serv. Geol. Port., 150 pp.

SILVA, F.; ROMÃO, J.; SEQUEIRA, A. & RIBEIRO, L. (1988): *Geotransversal no Grupo das Beiras (CXG) entre os sinclínios de Mação e Penha Garcia (centro-leste de Portugal)*. X Reunião do Oeste Peninsular.

TEIXEIRA, C. (1981): *Geologia de Portugal*. Vol. 1: *Précâmbrico, Paleozóico*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1-629.

THADEU, D. (1951): *Geologia e jazigos de chumbo e zinco da Beira Baixa*. Soc. Geol. Portugal, t. 9, 1-144.

Original recibido: Marzo de 1991.

Original aceptado: Junio de 1991.

## Thin skinned model for the Ossa Morena Zone

Por J. BRANDÃO SILVA (\*), A. RIBEIRO (\*), J. T. OLIVEIRA (\*\*), J. M. PIÇARRA (\*\*) and A. ARAUJO (\*)

#### RESUMEN

Los límites de la Zona de Ossa-Morena corresponden a importantes accidentes cabalgantes. El límite meridional coincide con una zona de sutura con subducción y obducción concomitantes en dirección hacia el norte. El límite septentrional corresponde al lineamiento Tomar-Badajoz-Córdoba, en el que puede evidenciarse una estructura en flor asimétrica. En esta contribución se describen una selección de estructuras que permiten proponer un modelo de deformación pelicular (*thin-skinned*) para la Zona de Ossa Morena, justificado por la existencia de mantos de corrimiento emplazados durante la orogenia varisca. La información aeromagnética disponible sugiere que las zonas de Ossa-Morena y Surportuguesa constituyen probablemente una placa delgada, despegada por encima de un substrato no deformado.

*Palabras clave:* Zona de Ossa-Morena, Modelo pelicular, Corrimientos, Zona de sutura.

#### ABSTRACT

The boundaries of the Ossa Morena Zone correspond to important thrusts. The southern boundary is a suture zone with concomitant northward subduction and obduction, and in the northern part, an asymmetric flower structure is displayed along the Tomar-Badajoz-Cordoba shear zone. Selected structures are described, and a thin-skinned model is proposed for the Ossa Morena Zone, supported by the existence of thrust emplacement during the variscan orogeny. Aeromagnetic data suggest that both the Ossa Morena and South Portuguese Zones are probably a thin plate with decollement above an undeformed basement.

*Key words:* Ossa Morena Zone, Thin-skinned model, Thrust systems, Suture zone.

#### RESUMO

Os limites da Zona de Ossa Morena correspondem a importantes acidentes cavalgantes. A fronteira Sul corresponde a uma zona de sutura com concomitante subducção e obducção em direcção a Norte, e segundo o alinhamento Tomar-Badajoz-Cordova, uma estrutura em flor dissimétrica é evidenciada. São descritas estruturas seleccionadas, e um modelo do tipo *thin-skinned* é proposto para a Zona de Ossa Morena, suportado pela existência de mantos de carreamento instalados durante a orogenia varisca. Dados aeromagnéticos sugerem que as Zonas de Ossa Morena e Sul Portuguesa constituem provavelmente uma fina placa descolada acima de um substrato não deformado.

*Palavras chave:* Zona de Ossa Morena, Modelo pelicular, Carreamentos, Zona de sutura.

#### 1. INTRODUCTION

In the Southwest branch of the Iberian Terrane (RIBEIRO et al., 1990), the Ossa Morena Zone (O.M.Z.) is bounded to the North by the Centro

Iberian Zone, and to the South by the South Portuguese Zone (S.P.Z.). These boundaries correspond to important thrusts. The northern boundary is marked by the Portalegre thrust, bringing the Ossa Morena Zone on top of the Centro Iberian Zone.

(\*) Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Portugal).

(\*\*) Instituto Geológico e Minero de Portugal (Lisboa, Portugal).

The Tomar-Badajoz-Córdoba shear zone, a major sinistral transpressive structure south from the



Portalegre thrust, separates two domains of the O.M.Z., and corresponds to the root of an asymmetric flower structure (figs. 1 and 4). The northern branch of this flower structure is the less developed, and displays northeastward vergent structures. In the southern branch, where the structures are best preserved, the vergence is towards the SW.

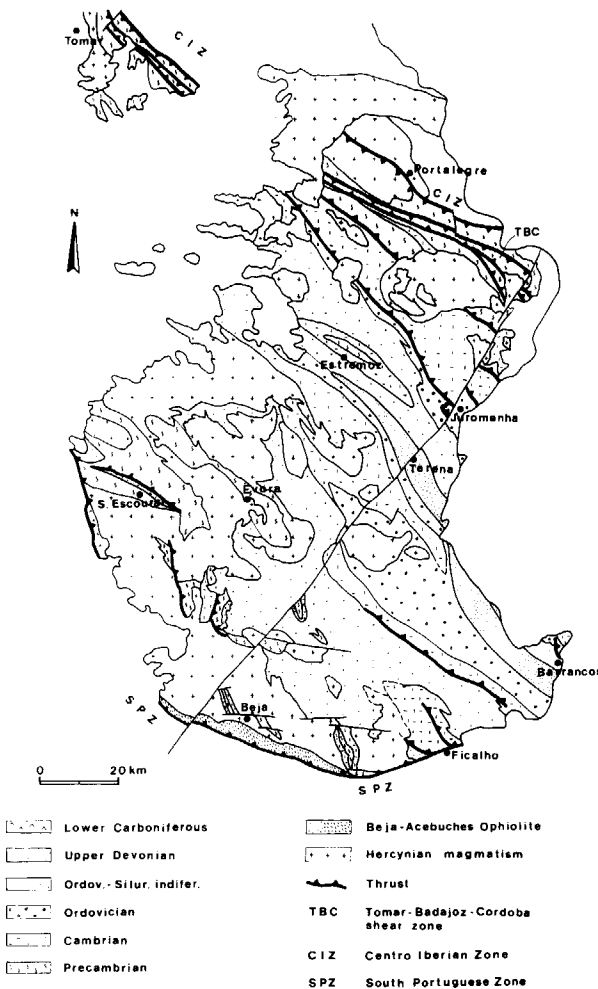


Figura 1.—The Ossa Morena Zone (South Portugal). Localization of the main structures referred in the text. (Adapted from the Geologic Map - scale 1.500.000, new edition of the Geologic Survey of Portugal - I.G.M.).

Major thrusts, as the Juromenha thrust (GONÇALVES, 1970) continuing to the SE in the Fregenal de la Sierra, Badajoz region (VAUCHEZ, 1975), on top of the thrust of the Barrancos re-

gion (PERDIGÃO et al., 1982) were already mapped NE of the Terena syncline, but the tangential tectonics is now being recognized in the Evora Massif.

The southern boundary of the O.M.Z. is a suture zone where the Beja-Acebuches ophiolitic sequence is preserved (MUNHA et al., 1986; FONSECA, 1989; SILVA et al., 1990). The northward sense of movement in the ophiolitic sequence shows the existence of tectonic flake concomitant with subduction to the north (SILVA, 1990; SILVA et al., 1990).

## 2. NAPPE EMPLACEMENT IN THE OSSA MORENA ZONE

Recent geological mapping (OLIVEIRA, coord., 1988, Geologic Map. of Portugal, scale 1:500.000 in press; ARAUJO, 1989; SILVA & ARAUJO, in prep.), provides new information about the existence of folded nappes in the southern branch of the O.M.Z.

Two main tectonic compressive phases are referred in the O.M.Z. The first one (D1), of Givetian age (CHACON et al., 1983), generated NS folds and nappes vergent to the west, and associated S1 cleavage. The second phase (D2), of pre-Upper Westphalian age, developed NW-SE trending structures and S2 subvertical cleavage.

Selected examples of representative structures will be described:

### The Estremoz Structure

In the Estremoz region, a major D2 antiform (figs. 1 and 2), involves a normal sequence of sedimentary and volcanic-sedimentary formations from the Precambrian to the Silurian. Superposed to this sequence, has been recognized another sequence including from base to the top: The Barrancos Slates (Lower Ordovician), the Colorado Formation (Upper Ordovician?), the Slates and Lydites Formation (Lower Silurian), and the Terena Flysch Formation (Upper Devonian), this last one unconformably overlying the Lower Silurian. The anomalous contact between these two sequences, where the Silurian is overlain by the Lower Ordovician, corresponds to a D1

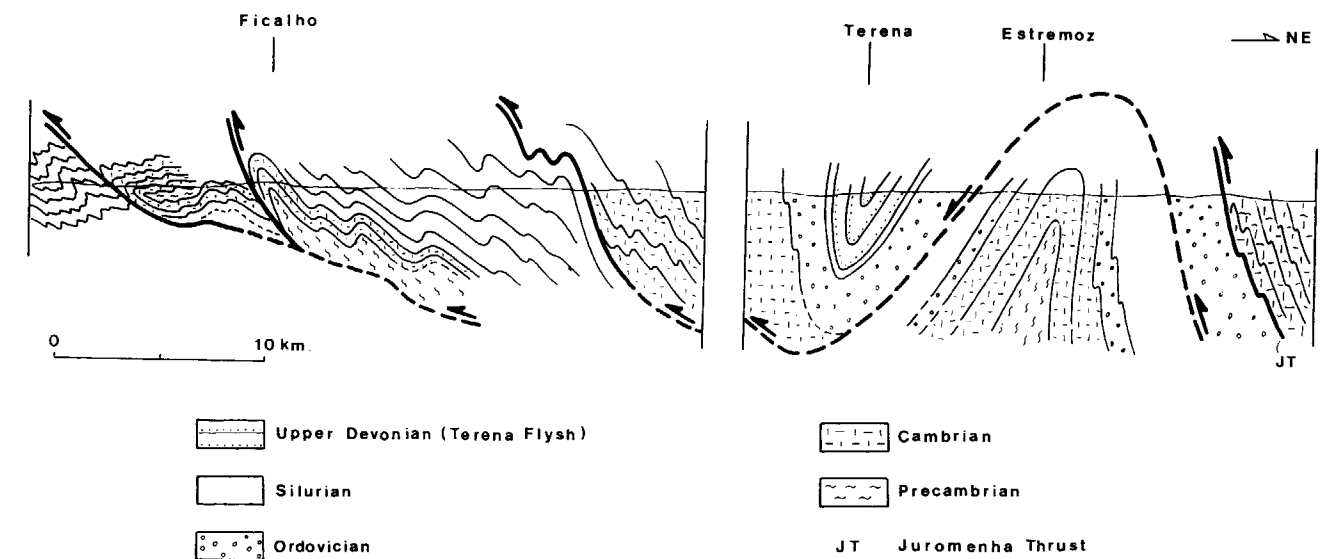


Figura 2.—Schematic traverse of Estremoz - Ficalho.

thrust nappe vergent to the SW (fig 2), corroborated by the existence of recumbent folding in the allochthonous pile. This emplacement took place before the deposition of the Terena Formation, and it could be related to the unconformity on the bottom of this formation, in a synorogenic regime. In fact, the Terena Formation is not affected by the first phase of deformation.

During the second deformation phase, the thrust surface was folded with NW-SE trending and NE vergence, with development of the first cleavage (S1) in the Terena Formation, equivalent to the second cleavage (S2) below the unconformity. Thus, the Estremoz antiform may correspond to a D2 tectonic window of this nappe which is rooted along the Juromenha Thrust lineament.

### The Ficalho Structure

This structure represents a major recumbent fold of D1 deformation phase, vergent to the WSW. Involving Precambrian sediments, Cambrian to Ordovician dolomites, limestones and volcanics, this fold nappe overthrusts slates of Silurian age. A duplex structure is recognized (fig. 2), probably generated during the progressive deformation D1 to D2.

The S2 cleavage related to the D2 deformation

shows a NW-SE trend, and the associated stretching lineation gently dipping to the SE, almost parallel to the folds axis, suggests the existence of a transpressive regime with left lateral shear sense.

### The Santiago do Escoural Structure

The main structure is a NW-SE trending overthrust with a displacement to the WSW generated during the Variscan Orogeny, superposing Precambrian series on the Cambrian (figs. 1 and 3). In the autochthon, volcano-detritic sediments and marbles of Cambrian age younging to the NE, overly unconformably Precambrian meta-cherts and micashists («Serie Negra») of Brioverian age. In the allochthon, the sequence includes from bottom to top: metacherts and micashists of «Serie Negra», felsic volcanics and amphibolites. Thus, as the «Serie Negra» is considered to be the youngest member in the Precambrian, the sequence should be reversed and the major structure could be a recumbent fold related to the main thrust, as a fold nappe with WSW vergence (fig. 3).

Isoclinal folding was generated during the emplacement of this nappe, related to progressive deformation, and cogenetic with the first cleavage (S1). In association to mylonitic foliation

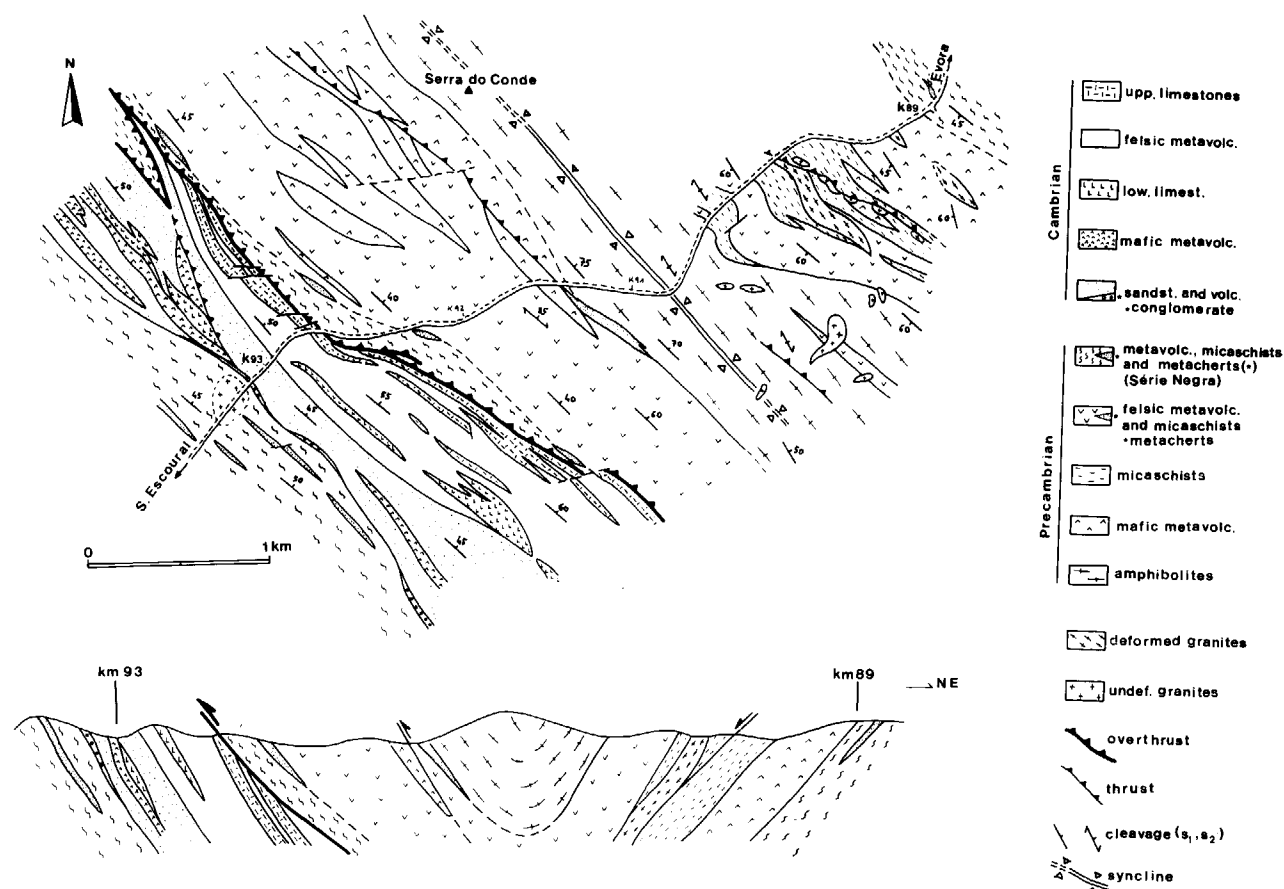


Figura 3.—The Santiago do Escoural area and schematic section.

in the thrust zone, the stretching lineation gently dipping to the ESE with low angle to the fold axis, is an argument for the existence of a transpressive regime with left lateral shear sense.

During the second phase of deformation, the structure was folded as a NW-SE trending synform whose the first phase reversed limb is preserved (fig. 3).

### 3. GENERAL INTERPRETATION

The flower structure in the northern part of the O.M.Z., was probably generated by tectonic inversion during the Variscan compression, and the root of this structure may have resulted from the reactivation of a former Precambrian crustal thinning (RIBEIRO et al., 1990).

We propose a thin skinned model for the O.M.Z.

to explain all the facts referred above. We use the thin skinned concept in the sense of Coward (1984, p. 63) «...thrusts flatten at depth to join with some decoupling horizon which gradually works its way back by some form of staircase trajectory to its original source of thrust movement». Then, the thin skinned model depends on the internal geometry and not on the scale.

The thin skinned model for the O.M.Z. is supported by the existence of thrusts generated during the Middle Devonian, affecting both the Precambrian basement and the Paleozoic cover. This deep thrust belt is probably related to delamination at deep crustal levels (RIBEIRO et al., 1988). Aeromagnetic data (MIRANDA et al., 1988) suggest that magnetic anomalies may be related to the continental crust below the O.M.Z. (fig. 4), and not to the surface structure.

The aeromagnetic map (MIRANDA et al., 1991), shows clearly the magnetic signature of the Beja

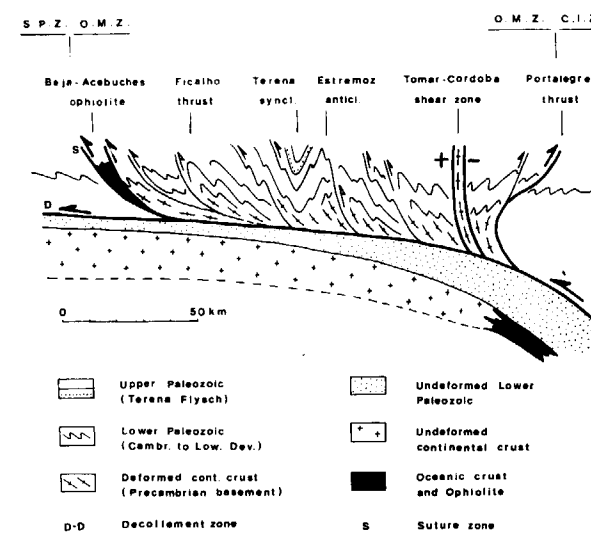


Figura 4.—Interpreted deep structure of the Ossa Morena Zone. (Adapted from RIBEIRO et al., 1988).

Gabbros in an arcuate shape, bounded by the suture between O.M.Z. and S.P.Z. But near the latitude of Evora ( $38^{\circ} 30'$ ) there is a continuous E-W anomaly, which is not cut by the exposed suture here with a N-S trend. This implies that this anomaly is deeper than the thin skinned O.M.Z. and represents a feature related to the footwall of the suture, probably the Precambrian basement of the S.P.Z. The eastern end of this E-W anomaly, 80 km to E of the suture, shows that the overthrust extends at least that distance.

Thus, both the O.M.Z. and S.P.Z. are probably a thin plate with decollement above an undeformed pre-Upper Devonian Paleozoic sedimentary sequence, resting on a Precambrian basement (RIBEIRO & SILVA, 1983; SILVA, 1989; SILVA et al., 1990 a).

All the deep structure shown in fig. 4 is of course speculative and schematic, but we suggest that below approximately 10 km (PRODEHL et al., 1975; MUELLER et al., 1973; RIBEIRO et al., 1988), the passive margin of a SW continent should be preserved, below the thrust plane corresponding to the flattening of the suture where the Beja-Acebuches Ophiolite is caught up between the O.M.Z. (Iberian Terrane) and the South Portuguese Terrane; we suppose that sediments on this margin should thin up to the NE.

The southern boundary of the O.M.Z. represents a suture after a Middle Devonian to Lower Carboniferous oblique continental collision (MUNHA et al., 1986; SILVA et al., 1990).

The WSW sense of movement referred in the Estremoz, Ficalho and Santiago do Escoural structures for the first phase (D1), is according to the vergence of folding in a non coaxial regime of deformation. Nevertheless, in the proximity of the Beja-Acebuches Ophiolite (northern boundary), the sense of movement is to the NE, probably related to the ophiolite obduction. As the vergence of the Estremoz Anticline and the Terena Syncline are to the NE for the second folding phase, this one could be induced by the ophiolite emplacement (RIBEIRO, pers. communic.). Otherwise, this fact is also confirmed by the clockwise transection in the Terena Syncline, where the NNW-SSE trending cleavage in relation to the NNW-SSE main structure, is according to a NE compression.

### REFERENCES

- ARAUJO, A. (1989): *Estrutura de uma geotransversal no rio Guadiana, entre Moura e Mourão*. Master Thesis. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Universidade de Lisboa. 92 pp.
- CHACON, J.; OLIVEIRA, V.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, J. T. (1983): *La estructura de la Zona de Ossa Morena*. (In: Libro Jubilar J. M. Ríos, tomo I. Instituto Geológico y Minero de España, pp. 490-504).
- COWARD, M. P. (1984): *Structural Interpretation with Emphasis on Extensional Tectonics*. In: Joint Association for Petroleum Exploration Courses (UK), Course Notes n.º 28, Part I. Geological Society, London. 127 pp.
- FONSECA, P. (1989): *Estudo de um segmento da sutura da Cadeia Varisca Ibérica: Serpa-Pulo do Lobo*. Master Thesis. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 93 pp.
- GONÇALVES, F. (1970): *Geologic Map of Portugal, sheet n.º 37-A, Elvas, scale 1/50.000*. Geologic Survey of Portugal.
- MIRANDA, J. M.; GALDEANO, A.; ROSSIGNOL, J. C.; MENDES-VICTOR, L. A. (1988): *The aeromagnetic survey of Portugal (1980) and some tectonic implications*. In: Proceedings of the 5.º Workshop on the European Geotransverse Project: Estoril, November 1988. Edited by E. Banda and L. A. Mendes-Victor, pp. 123-130.
- MIRANDA, J. M., & MENDES-VICTOR, L. A. (1991): *Carta Aeromagnética de Portugal a escala 1/1.000.000*. Serviços Geológicos de Portugal.

MUELLER, S.; PRODEHL, C.; MENDES, A. S. & MOREIRA, V. S. (1973): *Crustal structure in the southwestern part of the Iberian Peninsula*. Tectonophysics, Amsterdam, 20, pp. 307-318.

MUNHA, J. M.; OLIVEIRA, J. T.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, V.; QUESADA, C.; KERRICH, R. (1986): *Beja-Acebuches ophiolite characterization and geodynamic significance*. Maleo, Boletim Informativo da Sociedade Geológica de Portugal, vol. 2, n.º 13, pp. 31.

OLIVEIRA, J. T. (coordinator) (1988): *Geologic Map of Portugal, sheet n.º 8, scale 1/200.000*. Geologic Survey of Portugal.

PERDIGÃO, J.; OLIVEIRA, J. T. & RIBEIRO, A. (1982): *Geologic Map of Portugal, sheet n.º 44-B, Barrancos, scale 1/50.000*. Geologic Survey of Portugal.

PRODEHL, C.; MOREIRA, V. S.; MUELLER, St. & MENDES, A. S. (1975): *Deep-Seismic sounding experiments in Central and Southern Portugal*. In: General Assembly of the European Seismological Commission (14th - Berlin). DDR National Komitee für Geodäsie und Geophysik. Berlin, pp. 261-266.

RIBEIRO, A.; SILVA, J. B. (1983): *Structure of the South Portuguese Zone*. In: Sousa, M. J. L. and Oliveira, J. T. (eds.). *The Carboniferous of Portugal*. Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal (Lisboa), n.º 29, pp. 83-89.

RIBEIRO, A.; SILVA, J. B.; DIAS, R.; ARAUJO, A.; MARQUES, F.; MERINO, H.; FONSECA, P. (1988): *Geodynamics and Deep Structure of the Variscan Fold-Belt in Iberia*.

In: Proceedings of the 5.º Workshop on the European Geotransverse Project: Estoril, November 1988. Edited by E. Banda and L. A. Mendes-Victor, pp. 57-64.

RIBEIRO, A.; QUESADA, C.; DALLMEYER, R. D. (1990): *Geodynamic Evolution of the Iberian Massif*. In: R. D. Dallmeyer and E. Martínez (eds.). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

SILVA, J. B. (1989): *Estrutura de uma Geotransversal da Faixa Piritosa: Zona do Vale do Guadiana. Estudo da Tectónica Pelicular em Regime de Deformação não Coaxial*. PHD Thesis. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 294 pp.

SILVA, J. B.; OLIVEIRA, J. T.; RIBEIRO, A. (1990): *Structural Outline of the South Portuguese Zone*. In: R. D. Dallmeyer and E. Martínez (eds.). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 348-362.

SILVA, J. B.; OLIVEIRA, J. T.; RIBEIRO, A.; PIÇARRA, J. M. & ARAUJO, A. (1990a): *Thrust Tectonics in Ossa Morena Zone-South Portugal*. In: *Paleozoic Orogens in Central Europe*. Göttingen RFA, August 1990. IGCP Project 233 UNESCO.

SILVA, J. B. & ARAUJO, A. (in prep.): *The Santiago do Escoural Structure*.

VAUCHEZ, A. (1975): *Tectoniques tangentiellees superposées dans le segment hercynien Sud-Ibérique. Les nappes et plis couchés de la région d'Alconchel-Fregenal de la Sierra (Badajoz)*. Boletín Geológico Minero, t. 86, Madrid, pp. 573-580.

Original recibido: Marzo de 1991.

Original aceptado: Junio de 1991.

## Exploración minera de yacimientos de oro por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE).

Por R. URBANO (\*)

### RESUMEN

La mayor parte de las actividades de exploración de oro llevadas a cabo por el ITGE en nuestro país en los últimos años, han ido encaminadas principalmente a la localización de yacimientos relacionados con bandas de deformación de carácter regional. Las áreas recientemente investigadas por el ITGE y sus ámbitos geológico-estructurales son: Ordenes (La Coruña), en relación con la estructura lineamentaria de Puentevedume; Tomiño (Pontevedra), en la extensión sur de la banda de cizalla Malpica-Vigo; Pino (Zamora), en relación con la cizalla de Villalcampo; La Codosera (Badajoz), en el borde sur de la Zona Centro Ibérica y, a su vez, en el núcleo del sinclinal de La Codosera, afectado por una banda de cizalla senestral; Hueznar-Constantina (Sevilla), en el extremo suroriental del sector central de la Zona de Ossa-Morena, con desarrollo de estructuras de cizalla o miloníticas; Pirineo Axial (Huesca-Lérida), en relación con skarns y estructuras de cizalla; Macizos Ultrabásicos de Málaga (Ronda, Ojén, Carratraca), en relación con mineralizaciones de Cr-Ni en peridotitas y con facies listveníticas. De cada área se expone, de forma resumida, una síntesis sobre: el ámbito geológico, identificación de estructuras o cuerpos mineralizados, control estructural de las mineralizaciones, procesos genéticos, contenidos auríferos y trabajos de exploración realizados.

A manera introductoria, se describe brevemente la evolución de la exploración aurífera en nuestro país y la distribución de yacimientos en los distintos ámbitos geotectónicos de la Península Ibérica.

*Palabras clave:* Exploración minera, Oro, Zona de cizalla, Mineralización aurífera, España, Península Ibérica.

### ABSTRACT

Most of exploration activities for gold, carried out by ITGE in our country, in the last few years, have been focused to locate ore deposits in relation with major shear zones. The recently investigated areas and their geological-structural settings are: Ordenes (La Coruña), in relation with the linear structure of Puentevedume; Tomiño (Pontevedra), in the southern extension of Malpica-Vigo shear band; Pino (Zamora), in relation with the Villalcampo shear zone; La Codosera (Badajoz), in the southern margin of the Central Iberian Zone and in the core of La Codosera syncline, affected by a sinistral shear band; Hueznar-Constantina (Sevilla), in the southeastern end of the central belt of Ossa-Morena Zone, with development of shear structures; Pirineo Axial (Huesca-Lérida), in relation with skarns and shear structures; Ultrabasic Massifs of Málaga (Ronda, Ojén, Carratraca), in relation with Cr-Ni mineralizations in peridotites and listvenitic facies. A synthesis of the geological setting, identified structures and mineralised bodies, structural control of mineralizations, genetic process, distribution of gold values and exploration activities carried out, are exposed for each area.

Briefly, are described the development of gold exploration in our country and the distribution of gold ore deposits in the geotectonic settings of the Iberian Peninsula.

*Key words:* Mining exploration, Gold, Shear zone, Gold mineralization, Spain, Iberian Peninsula.

### INTRODUCCION

La abundante cantidad de indicios de oro, puestos ya de manifiesto desde los tiempos antiguos,

(\*) Instituto Tecnológico Geominero de España. Dirección de Recursos Minerales. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

repartidos por los distintos ámbitos geotécnicos del territorio peninsular, pueden agruparse en su mayor parte dentro de los diversos tipos o modelos geológicos actualmente conocidos. A éstos hay que añadir numerosos indicios o yacimientos de Cu, Fe, Sb, Sn, W, que por sus contenidos



en oro pasan a convertirse en yacimientos de este metal precioso. A su vez, los actuales conocimientos sobre los procesos genéticos y el control de las mineralizaciones así como el descubrimiento de nuevos tipos de depósitos amplía el campo de posibilidades de investigación de áreas vírgenes o con escasos antecedentes mineros.

La investigación de metales preciosos adquiere un auge relevante a partir de la década de los ochenta. En nuestro país, las actividades de exploración por parte del sector privado, se centran principalmente en áreas con manifestaciones auríferas conocidas y que ofrecen mayores posibilidades a la luz de los últimos modelos descubiertos a nivel mundial. Entre las zonas más intensamente investigadas para oro destacan: los yacimientos epitermales asociados al vulcanismo terciario del sureste español (zona de Cabo de Gata), yacimientos relacionados con cuerpos intrusivos o lineamientos estructurales de las zonas Cantábrica y Asturoccidental-Leonesa (Salave, Carlés, Salamón), yacimientos relacionados con la banda de cizalla Malpica-Tuy (Corcoesto, Zas).

El ITGE, dentro de su cometido de ampliar el conocimiento de nuestros recursos mineros, dirige una parte importante de sus actividades de exploración, hacia las áreas menos investigadas y al mismo tiempo enmarcadas en ámbitos geológicos favorables, con objeto de poner de manifiesto nuevas zonas de interés para su posterior investigación de detalle. Los trabajos realizados en los últimos años en el campo de la investigación aurífera, se centran fundamentalmente en la búsqueda de yacimientos relacionados con bandas de deformación de carácter regional, en las Zonas de Galicia-Tras-Os-Montes (extensión Sur de la cizalla Malpica-Vigo), Centro Ibérica (cizallas de Villalcampo, La Codosera) y Ossa-Morena (formación blastomilonítica Constantina-Puebla de los Infantes, zonas de cizalla del área de Hueznar), así como áreas del Pirineo Central y Macizo Ultrabásico de Ronda. A su vez se han llevado a cabo trabajos de modelización de yacimientos (análisis estructural, caracterización de fluidos y sulfuros, ensayos metodológicos, integración de datos) con objeto de definir los modelos genéticos y guías de prospección. Estos últimos estudios se realizaron, en su mayor parte, en colaboración con universidades u organismos in-

ternacionales a través de proyectos subvencionados por la U. E. (Unión Europea).

#### RESUMEN DE ANTECEDENTES HISTORICOS

La minería del oro en nuestro país adquiere una importancia relevante en los tiempos antiguos. En la época tartesa ya se beneficia el oro de los *gossans* de la Faja Pirítica, y durante la época romana, en la que se alcanza la mayor producción aurífera, se explotan numerosos yacimientos primarios y formaciones aluvionares terciarias, principalmente en el NW peninsular, donde llegaron a existir del orden de 600 explotaciones (PEREZ y SANCHEZ-PALENCIA, 1985), entre las que podemos destacar, como testimonio más espectacular, Las Médulas de Carucedo (León). Después de la época romana, durante toda la Edad Media, la minería del oro en la Península decae de manera considerable, acentuándose aún más esta crisis posteriormente, a raíz del descubrimiento de América. La actividad de exploración aurífera en nuestro país no vuelve a resurgir hasta el siglo XIX. En este período se descubren varios yacimientos auríferos en Extremadura, los filones de La Nava de Ricomalillo (Toledo) y Nava de Jadraque (Guadalajara), los aluviones de Caniles de Baza (Granada) y el yacimiento de Rodalquilar (Almería), entre otros.

En la primera mitad del siglo XX, se constituyen diversas sociedades, principalmente extranjeras, para explotar antiguas minas filonianas del NO peninsular (Corcoesto, Zas, Valdoviño, Cobas, Carballino), y los placeres auríferos de los ríos Orbigo, Duerma, Omañas, Sil. En la región pirenaica se explotan las arsenopiritas de Monte Aneto (Huesca) y Ribas de Freser (Gerona). Continúan las explotaciones en Nava de Jadraque, Santomera y Rodalquilar. En la Faja Pirítica se beneficia oro y plata de los *gossans* de la masa Norte de Río Tinto y filón Sur de Tharsis. El IGME investiga los aluviones de los ríos Alagón y Jerte, en 1936, y también los filones de La Nava de Ricomalillo (Toledo).

#### TIPOLOGIA DE YACIMIENTOS DE ORO EN ESPAÑA

La clasificación tipológica de yacimientos de oro

a nivel mundial es diversa, según autores y criterios, y variable en el tiempo conforme evolucionan los conceptos genéticos. Entre las más conocidas se pueden citar: ROUTHIER (1963), BOYLE (1979), BACHE (1980) y LEWIS (1982).

A nivel nacional, dentro del marco del PNIM, se estableció una tipología en 1971, para el Mapa Metalogénico de España, basada en criterios metalotécticos de ámbito geotectónico. En el *Inventario de los recursos nacionales del oro*.

1.ª fase (1984), BURKHALTER hace una relación de yacimientos auríferos españoles y sus posibles afinidades con los tipos o subtipos mundiales, siguiendo fundamentalmente la clasificación de BACHE (1980), en la que se asocia el marco geoestructural, las características del encajante y las asociaciones mineralógicas. Tomando como referencia esta clasificación, en el cuadro I se expone, de manera resumida, una relación de yacimientos auríferos españoles, distribuidos por ámbitos geotectónicos de la Península Ibérica.

#### CUADRO I

##### Distribución y tipología de yacimientos de oro en España

###### Zonas Cantábrica y Asturoccidental-Leonesa:

- Mineralizaciones diseminadas en stocks graníticos, asociadas a procesos hidrotermales: Salave (As, Mo, Sb, Au).
- Skarns de contacto intrusivo/encajante carbonatado: Carlés (As, Cu, Sb, Bi, Au).
- Venas, stockworks, diseminaciones en relación con accidentes tectónicos:
  - Alineación Navelgas-Allande-Monterroso (As, Cu, Au).
  - Alineación Carlés-Villaverde-Boinás (As, Cu, Mo, Sb, Au).
  - Alineación Salamón-Peña Prieta (As, Cu, Sb, Bi, Au).
- Yacimientos secundarios en formaciones detríticas Oligoceno-Cuaternario: ríos Sil, Duerna, Orbigo, Omañas...

###### Zona de Galicia-Tras os Montes:

- Mineralizaciones filonianas, stockworks, cuerpos silicificados en relación con bandas de cizalla de carácter regional:
  - Alineación Corcoesto-Zas-Noya.
  - Alineación Valdoviño-Puentedeume.
- Yacimientos filonianos asociados a plutones graníticos: Carballino (Orense).

###### Zona Centro-Ibérica:

- Mineralizaciones filonianas intragraníticas en relación con zonas de cizalla: Pino (Zamora) (Aspy, Au).
- Mineralizaciones filonianas intragraníticas con scheelita-arsenopirita: Barruecopardo (Salamanca).
- Yacimientos filonianos en metasedimentos, en relación con zonas de cizalla: La Codosera (Badajoz).
- Yacimientos filonianos asociados a mineralizaciones de Sb: Valencia de Alcántara (Cáceres), Herrera del Duque (Badajoz).
- Yacimientos filonianos asociados a mineralizaciones de W-Bi: Oliva de la Frontera (Badajoz).
- Yacimientos filonianos subconcordantes/encajantes en series del Ordovícico: La Nava de Ricomalillo (Toledo).
- Yacimientos filonianos/diseñados con carácter persistente del oro en toda la columna estratigráfica Precámbrico-Trías: La Nava de Jadraque (Guadalajara).
- Yacimientos secundarios en formaciones terciarias/cuaternarias: ríos Jerte, Alagón, Ribera de Gata...
- Placeres antiguos en niveles conglomeráticos del Precámbrico del Valle de Alcudía.

###### Zona de Ossa-Morena:

- Mineralizaciones de sulfuros polimetálicos con presencia de Au y Ag en formaciones volcanosedimentarias del Carbonífero Inferior (Tipo Faja Pirítica): La Nava-Paredón (Córdoba).
- Mineralizaciones filonianas con sulfuros (Cpy, Aspy, Py) y presencia de Au y Ag, en relación con estructuras de deformación en series del Precámbrico-Paleozoico del Anticlinorio Olivenza-Monesterio-Lora del Río.
- Mineralizaciones asociadas a niveles vulcanogénicos con OxFe y sulfuros (Cpy, Py) en series de transición Precámbrico-Cámbrico: Peñafior (Sevilla).

###### Zona Sur Portuguesa. (Faja Pirítica):

- Mineralizaciones de sulfuros polimetálicos dentro del complejo volcánico-sedimentario, con enriquecimiento supergénico en Au y Ag: Cerro Colorado (Río Tinto), Tharsis, La Lapilla (Huelva).

###### Béticas:

- Yacimientos epitermales encajantes en rocas volcánicas terciarias en relación con estructuras tipo «Caldera»: Rodalquilar-Cabo de Gata (Almería).
- Yacimientos asociados a filones de siderita+sulfuros, encajantes en materiales metamórficos del Complejo Nevado-Filábride.
- Yacimientos asociados a rocas ultrabásicas (Macizos de Ronda):
  - Mineralizaciones de Cr-Ni con Au, en filones encajantes en peridotitas.
  - Mineralizaciones de sulfuros+Au en facies listveníticas en filones relacionados con zonas de cizalla en el borde de los macizos.
- Conglomerados y rañas plio-cuaternarios: Caniles de Baza, Ugijar.
- Formaciones aluviales recientes de los ríos Genil, Darro, Galopón y Almanzora.

###### Pirineo Central:

- Yacimientos filonianos en relación con removilizaciones de mineralizaciones tipo «sedex» en formaciones cambro-ordovícicas: Ribas de Freser (Gerona).
- Skarns del contacto Norte del macizo granodiorítico de La Maladeta.
- Filones de cuarzo en relación con zonas de cizalla: Tor (Lérida).

## EXPLORACION DE ORO EN ESPAÑA DESDE 1970

A comienzos de la década de los 70 se intensifica notablemente la exploración minera en nuestro país, con la participación de diversas compañías multinacionales y al mismo tiempo de las empresas mineras aquí asentadas, impulsadas hacia la búsqueda de nuevos yacimientos fuera del ámbito de sus distritos mineros.

Por parte de la Administración se ponen en marcha los planes nacionales de la minería y de la investigación minera (PNIM/1971), seguidos del PNAMPM/1978, vigente hasta 1987, con el objetivo de reducir nuestra dependencia exterior en el abastecimiento de minerales y potenciar la investigación y explotación de nuestros recursos, con prioridad hacia las sustancias deficitarias como Pb, Zn, Cu, Sn, W, Cr, Ni y Mn.

Aunque en una primera fase, las actividades de investigación se centran fundamentalmente en los metales básicos, estaño y wolframio, la evolución de las condiciones de mercado y sobre todo la tendencia alcista de los precios del oro, pasando de estar estancado en 35 \$/onza en 1968 hasta alcanzar un récord de 850 \$/onza en 1980 y estabilizarse en un precio fluctuante entre 350 y 400 \$/onza, unido a la posterior crisis de los metales, hacen que en la década de los 80 el oro se convierta en la principal sustancia e investigar. Además, las mejoras introducidas en las técnicas mineralúrgicas de extracción, permiten la explotación de yacimientos marginales y/o con mineralización finamente diseminada.

Como ejemplos más característicos, a nivel mundial, podemos citar los yacimientos epitermales: tipo Carlin (EE. UU.) (diseminado), y el yacimiento filoniano de El Indio (Chile), cuyos modelos habían de contribuir a marcar las guías de exploración para este tipo de depósitos.

Entre las actuaciones más importantes en nuestro país, en el campo de la investigación de metales preciosos, podemos destacar las llevadas a cabo en las siguientes áreas:

En la Zona Cantábrica y Asturoccidental-Leonesa:

- Stock granodiorítico de Salave (Asturias), con mineralización de As-Mo-Sb-Au, asociada a intensa alteración hidrotermal. Ha sido intensamente investigado por sondeos desde 1970,

por sucesivas compañías multinacionales. Se llegó a delimitar un yacimiento de más de 15 Mt, con contenidos en oro de 2,5 g/t.

- Skarn de Carlés, con mineralización de sulfuros ± oro. Se llegó a realizar el estudio de viabilidad.
- Alineación Villaverde-Begega-Boinás.
- Alineación Navelgas-Monterroso, en relación con la falla de Allande.
- Zona de Salamón-Peña Prieta (Palencia), en relación con las fallas de Porma, León y Ventaniella.

- Formaciones aluvionares de Las Omañas.

En el NO de Galicia se investigó la zona de Corcoesto-Zas-Fervenza y los haces filonianos del área de Carballino.

En la zona del volcanismo terciario de Cabo de Gata, se continuó la investigación y puesta en producción del yacimiento de Rodalquilar.

En la Faja Pirítica se investigaron y explotaron los *gossans* de La Lapilla y se sigue beneficiando el oro de Cerro Colorado (Río Tinto) y Filón Sur (Tharsis).

RTM llevó a cabo diversos proyectos de investigación de oro en áreas de Galicia, Asturias, León, Granada, Almería, Cáceres, Ciudad Real y Toledo.

La Junta de Castilla-León realiza el inventario de indicios de oro de la Comunidad y lleva a cabo investigaciones en áreas de Zamora y Salamanca.

En la década de los 70, el ITGE desarrolla diversas actividades de investigación de oro en las áreas de Salave, Valle de Alcudia (1970), Santiago de Alcántara (Cáceres), Hiendelaencina, El Pedroso (Sevilla), Corcoesto (1975), Bollo-Sanabria (Zamora), Caniles de Baza (1978).

### ACTIVIDADES RECIENTES DE EXPLORACION DE ORO EN ESPAÑA POR EL ITGE

En el cuadro II se resumen las actividades desarrolladas por el ITGE, en el campo de la exploración de recursos minerales.

**CUADRO II**  
**Actividades del ITGE en la exploración de recursos minerales**

Fase	Actividad	Objetivos
EXPLORACION REGIONAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Programa de Exploración Sistemática (PES): Geoquímica multielemental y mineralometría de sedimentos.</li> <li>— Cartografía metalogenética.</li> <li>— Estudios de teledetección.</li> <li>— Geofísica aeroportada: magnético, electromagnético, VLF, radiométrico, resistividades.</li> <li>— Gravimetría estructural.</li> <li>— Cartografía geológico-minera.</li> <li>— Integración de datos.</li> </ul>	Definir áreas prospectables (anomalías, bandas de deformación o alteración, estructuras, aureolas...)
EXPLORACION DE DETALLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Estudio geológico-estructural.</li> <li>— Geoquímica táctica: suelos, litogeoquímica.</li> <li>— Geofísica terrestre: magnético, electromagnético, VLF, Polarización inducida (IP), gravimetría.</li> <li>— Labores mecánicas: calicatas, sondeos.</li> </ul>	Identificación y control geológico de cuerpos mineralizados.
CARACTERIZACION DE YACIMIENTOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Ensayos metodológicos.</li> <li>— Estudios petrográficos y metalogén.</li> <li>— Estudio de alteraciones y deformación.</li> <li>— Estudios geoquímicos y mineralógicos.</li> <li>— Estudios de fluidos.</li> <li>— Ensayos mineralúrgicos.</li> </ul>	Definir modelo metalogénico y guías de prospección.

La mayor parte de las actividades de exploración de oro en España, realizadas por el ITGE en los últimos años, se centran fundamentalmente en la búsqueda de yacimientos relacionados con bandas de deformación de carácter regional. En el mapa de la figura 1, se señalan las áreas investigadas recientemente. Los trabajos de exploración desarrollados en las mismas, así como los resultados obtenidos se resumen a continuación:

#### Area de Ordenes (La Coruña)

Comprende las hojas 1:50.000 de Betanzos, Guitiriz, Ordenes y Sobrado de los Montes, de la provincia de La Coruña.

Los materiales aflorantes en el área corresponden a dos grandes dominios geológicos: el Complejo Alóctono de Ordenes (serie esquistosa y

unidades de ortoneises y rocas ultrabásicas y básicas) y el Anticlinorio del Olló de Sapo (esquistos, cuarcitas, metavulcanitas ácidas) separadas por una gran estructura lineamentaria, la cizalla de Puente deume. Esta estructura, con juego senestral y de carácter dúctil, constituye un metalotecto regional de primer orden, a lo largo de la cual se sitúan varias mineralizaciones de Au-As o As.

Al amparo de un proyecto de la U. E. (MIDAS): *Multidata set analysis for the development of metallogenic/economic models and exploration criteria for gold deposits in Western Europe*, se llevó a cabo un análisis multidisciplinar de la zona, además del reconocimiento detallado de áreas anómalas. Se han integrado, en un sistema de información geográfico, los datos regionales de teledetección, geofísica (gravimetría), geoquímica (multielemental en sedimentos de

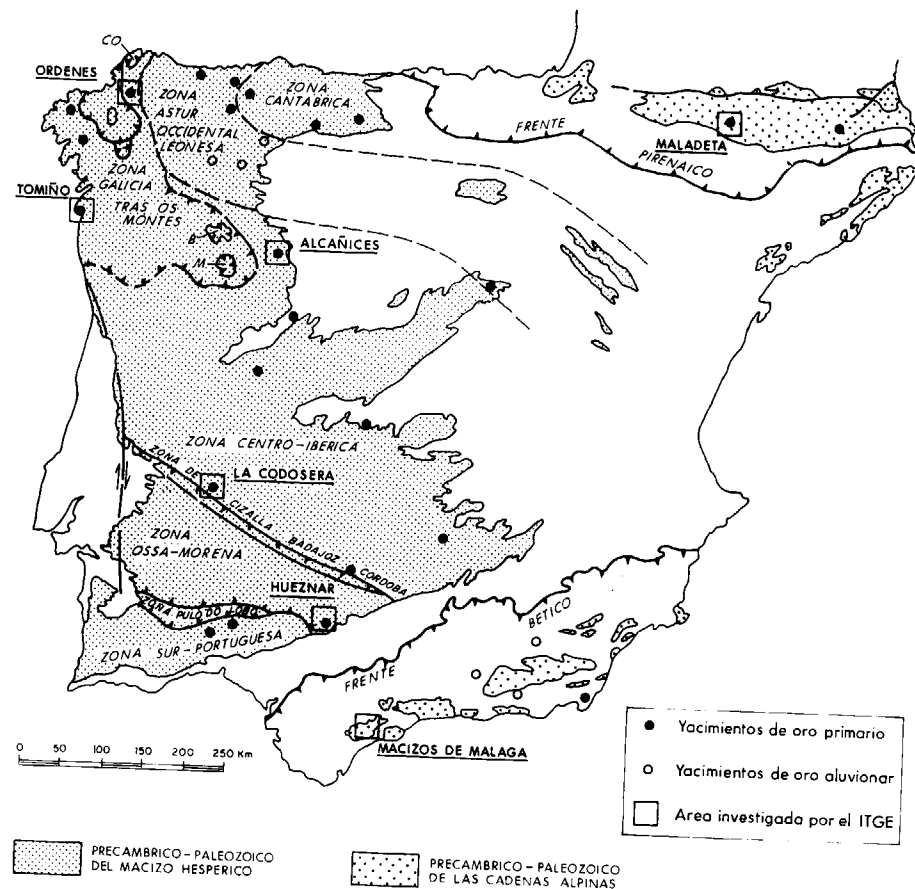


Figura 1.—Distribución de los principales yacimientos e indicios de oro en España y situación de las áreas investigadas por el ITGE.

redes de drenaje y mineralometría), geología y metalogenia.

Como paso previo y para su utilización como objetivos de referencia se modelizaron las principales mineralizaciones de la zona, de las cuales la más representativa es la de Aranga. Además, se estudió la respuesta de esta mineralización a diversas técnicas para poder introducir este modelo en el análisis global. Está situada en esquistos ordovícicos y sobre el accidente dúctil regional, y está formada por dos haces filonianos de dirección N160°-180°. Los filones siguen mayoritariamente esta dirección y tienen una estructura interna bandeada. Sin embargo también existen filones mineralizados con direcciones N50°-70° y N100°-120°. Su paragénesis mineral es sencilla y está compuesta por cuarzo y arsenopirita, con oro, scheelita, pirita, pirrotina, calcopirita y sulfosales de Sb accesorios. La alteración hidrotermal desarrollada en el entorno de la minerali-

zación es muy limitada y poco intensa. Tanto el proceso mineralizador como el de deformación en la cizalla son de carácter polifásico, controlando éste al primero y evidenciando una evolución de condiciones dúctiles a frágiles. Se ha comprobado la importancia de los accidentes N60° y N110°, en cuyas intersecciones con la estructura principal N160° se hallan las principales mineralizaciones, y en concreto Aranga.

Desde el punto de vista geoquímico la respuesta de estas mineralizaciones es sencilla. El As es un indicador semiestratégico (asociado a las bandas de deformación dúctil), mientras que el Au es el elemento indicador de la mineralización.

En general, se han identificado varias áreas, ya sea sobre la misma estructura lineamentaria de Puentedeume o fuera de ella, asociadas a accidentes de dirección N60°, en las que coinciden anomalías geoquímicas y mineralométricas. Se hallan en fase de estudio de detalle.

### Area de Tomiño (Pontevedra)

Situada al SO de la provincia de Pontevedra. El área de la reserva original comprende las hojas 1:50.000 de Vigo, Oya-Tuy, La Guardia-Tomiño.

Geológicamente se emplaza dentro del Dominio Esquistoso de Galicia Tras-os-Montes y en el extremo sur de la unidad alóctona de Malpica-Tuy, aflorante en el área en la sierra de Galiñeiro. Desde el punto de vista estructural se sitúa en la prolongación sur de la zona de cizalla Malpica-Vigo (IGLESIAS, 1980).

En la primera fase de exploración regional se realizó la prospección geoquímica multielemental y mineralométrica en todo el área de la reserva, delimitándose como área de interés aurífero la banda de metasedimentos paleozoicos (complejo El Rosal-La Lanzada) comprendida entre el valle Miñor y el río Miño. La banda aparece limitada al E y al O por granitoides hercínicos, e intruida a su vez por cuerpos graníticos sincinemáticos y abundantes diques pegmatíticos y aplíticos. El conjunto de materiales está afectado por la deformación polifásica de la orogenia hercínica, con desarrollo de pliegues de plano axial subvertical, con foliación de plano axial asociado, atribuibles a la 3.ª fase de deformación (D3).

En relación con el control estructural se pueden diferenciar dos tipos principales de mineralización con oro:

- Mineralizaciones asociadas a zonas de cizalla de carácter frágil-dúctil, desarrolladas en las unidades metasedimentarias, con emplazamiento de filones de cuarzo paralelamente a los planos principales de cizalla con mineralización de sulfuros (pirita, arsenopirita, calcopirita) ± oro.
- Mineralizaciones asociadas a los sistemas de fracturación desarrollados en los cuerpos graníticos, con carácter de grietas de tensión o cizallas, con greisenización del granito encajante y mineralización de cuarzo con sulfuros ± oro.

Los sectores o estructuras principales estudiados en detalle comprenden:

#### Cizalla de Valdemiñotos-Loureira

Estructura planar, que se desarrolla dentro del

borde occidental de la banda de metasedimentos, con dirección aproximada N10°E, con pendiente hacia el E y longitud reconocida en unos 15 km. En la evolución de la estructura se superponen sucesivos episodios de cizalla dextral, falla normal y desarrollo de brechificación.

El tramo sur de la estructura se investigó en detalle en una longitud de 4 km, mediante geoquímica de suelos (malla 200 × 25), geofísica (VLF, EM) y sondeos. Este tramo transcurre dentro de la unidad Ordovícico-Silúrica de esquistos de Monteferro, a favor de los niveles grafitosos. Se detectan anomalías significativas de Au (máx. 750 ppb) y As (máx. 12.600 ppm), así como de VLF y EM, coincidentes o paralelas a la estructura principal. La potencia de la zona de falla brechificada varía entre 2 y 20 m y la banda de deformación sobrepasa los 100 m, a cada lado de la estructura. La mineralización consiste en cuarzo con sulfuros, principalmente pirita, arsenopirita, calcopirita y en proporciones menores esfalerita, galena, pirrotina, con presencia de oro nativo. La distribución del oro es irregular, alternando escasos tramos métricos con contenidos significativos (máx. 8 g/t Au), con tramos estériles.

#### Cizallas de Vilachán do Monte-Pedrada

Se desarrollan fundamentalmente en esquistos grafitosos silúricos de la unidad de Vilachán, en una banda de unos 8 km de longitud. Los filones de espesor decimétrico emplazados en los planos principales de cizalla presentan mineralización de sulfuros (arsenopirita, pirita) con contenidos auríferos irregulares y bajos, salvo algún valor puntual excepcional (máx. 17 g/t Au).

#### Haces filonianos intragraníticos del Alto de Pozas

Los haces filonianos intragraníticos de mayor interés aurífero se emplazan en dos cuerpos graníticos, sincinemáticos respecto a la D3 hercínica, intruidos aproximadamente en el eje de la banda metasedimentaria: el stock de Pedrada y su prolongación hacia el N en el dique de Urgal, con más de 10 km de longitud, concordante con las estructuras regionales. La mayor concentración de filones mineralizados y con mayores contenidos en oro se localizan dentro de un tramo de este dique, de unos 2 km de longitud (sector



Alto de Pozas) y con potencia variable de 50 a 150 m, que ha sido estudiado en detalle y reconocido en profundidad por sondeos mecánicos.

La orientación espacial de los filones es bastante uniforme, con direcciones comprendidas entre N60°E y N80°E y pendiente media de 78°N. La potencia de los filones varía desde simples fisuras tapizadas de cuarzo y sulfuros a filones de cuarzo decimétricos. La greisenización lateral acompañante varía desde 1 cm hasta más de 1 m. La densidad o espaciado entre filones varía desde tramos con filones a intervalos decimétricos a espaciados de varios metros. En relación con la evolución tectónica y los procesos de mineralización asociados se interpretan como sigue:

- Desarrollo inicial de un primer grupo de fracturas de cizalla con desplazamiento senestral. En esta etapa se produciría la greisenización y el emplazamiento de los primeros filones de cuarzo y sulfuros (pirita, arsenopirita, pirrotina).
- Cambio en la orientación de los esfuerzos provocando la apertura de las fracturas anteriores, en régimen tensional, y generación de otras nuevas. En esta etapa se depositaría cuarzo, sulfuros (pirita, arsenopirita, calcopirita) y oro.
- Fracturación tardía y brechificación con deposición de sulfuros tardíos (calcopirita, esfalerita, bismutinita), sulfosales y oro nativo.

Del resultado de los sondeos y distribuyendo el contenido aurífero de los filones por tramos de dilución de 1 m, se deduce que sólo un pequeño porcentaje de los filones interceptados presenta contenidos significativos de oro (3-17 g/t). En el estudio microscópico se observa: dentro del endogreisen el oro es muy escaso y se presenta como inclusiones muy diminutas (< 8 µm) dentro de otros minerales (calcopirita); dentro de los filones de cuarzo, en la paragénesis hidrotermal temprana, hay abundancia de inclusiones de oro en calcopirita, ocasionalmente en pirita y arsenopirita con tamaños ≤ 15 µm; en la paragénesis hidrotermal tardía, aparecen gruesos cristales de oro nativo, frecuentemente relacionados con calcopirita tardía y microfisuración de los sulfuros, con tamaños comprendidos entre 25 y 35 µm (máx. 175 µm). Destaca la afinidad del oro con la calcopirita. El estudio de los sul-

furos (arsenopirita) (Mössbauer, SEM, SIMS) demuestra que la mayor parte del oro se presenta como oro nativo (CATHELINEAU et al., 1993), sólo un 5 por 100 del oro aparece en estado combinado.

El estudio de microfisuración indica que el proceso de enriquecimiento aurífero más importante se produce en las últimas fases de deformación frágil (CATHELINEAU et al., 1993), que se caracteriza a su vez por una microfracturación, tanto del cuarzo como de los sulfuros precoces, dentro de un régimen compresivo que se mantiene a lo largo de todo el proceso, que condiciona la percolación de fluidos y conduce a la deposición de sulfuros, sulfosales y oro.

El estudio de las mineralizaciones auríferas intragraníticas del área de Tomiño, juntamente con la zona de Pino (Zamora) y otras del N de Portugal y Galicia, se integran en un proyecto de la U. E.: *Multidisciplinary studies of Au-vein formation. Application to the Western part of the Hesperian Massif (Spain-Portugal)*, cuyo objetivo es poner a punto los modelos metalogénicos de concentraciones auríferas filonianas y definir los mecanismos de enriquecimiento en oro, en zonas potenciales, dentro de las series metamórficas paleozoicas y granitoides hercínicas del Macizo Hespérico (NO Península Ibérica). El contenido del proyecto abarca un amplio estudio del control litoestratigráfico y estructural, microfracturación y migración de fluidos, alteraciones, condiciones físico-químicas de deposición, caracterización y análisis de fluidos y sulfuros, modelos genéticos.

#### Area de Pino (Zamora)

El área de Pino, comprendida dentro de la reserva estatal *Alcañices Bis*, está situada en el extremo occidental de la provincia de Zamora, entre el río Esla y la frontera portuguesa. Geológicamente se enmarca en el dominio norte de la Zona Centro Ibérica.

Las mineralizaciones auríferas de Pino se localizan en la parte central del borde sur del plutón de Ricobayo, cuerpo alargado en dirección NO-SE que se extiende desde la frontera portuguesa hasta las proximidades de Zamora capital. Intruye en una secuencia paleozoica de materiales preordovícicos de edad indeterminada. Se trata

de un granito de dos micas, como facies dominante, con zonas más moscovíticas ocasionales.

El control estructural de las mineralizaciones auríferas está relacionado con la banda de cizalla regional de Villalcampo (GONZALEZ-CLAVIJO et al., 1994), de dirección NO-SE y sentido dextro, observable en una longitud de 40 km con una anchura de 2-3 km. En su extensión NO se ramifica en un abanico distensivo (*horse tail*) que afecta al granito de Ricobayo. Dentro de esta zona extensiva se han diferenciado dos grupos de estructuras de cizalla subordinadas, senestras y subverticales. Uno de estos grupos tiene una dirección media N 68° E y se sitúa en el borde externo del abanico, en ambiente distensivo, con abundantes milonitas brechadas. Estas estructuras están intruidas por diques de cuarzo y rocas básicas, llevan asociadas zonas de alteración hidrotermal y son las portadoras de las mineralizaciones auríferas de Pino.

Los procesos de alteración consisten en silicificación (los más importantes), potasificación, sericitización y cloritización.

La mineralización principal es de arsenopirita, pirita y oro nativo. Localmente hay además calcopirita, esfalerita y magnetita. Se presenta de forma discontinua dentro de las estructuras y está siempre ligada a las alteraciones.

Se ha observado una evolución de los mecanismos de deformación dentro de las estructuras mineralizadas, condicionada por el aporte de fluidos hidrotermales que da lugar a la repetición de ciclos dúctiles-frágiles. Este mecanismo respondería al concepto que SIBSON (1977) denomina *bombeo sísmico*, y que permitiría un enriquecimiento mineral importante.

Los datos analíticos revelan valores significativos de oro en todas las bandas de cizalla estudiadas.

Los trabajos de la primera fase de exploración del área de Pino fueron realizados por la Junta de Castilla-León (1986) y comprenden: cartografía: 1:25.000 del granito de Ricobayo; prospección geoquímica y mineralométrica de la red de drenaje; cartografía 1:10.000 del área de Pino, con definición de la relación de las mineralizaciones con cizallas senestras; sondeos mecánicos de las estructuras mineralizadas.

Los trabajos realizados por el ITGE han consistido en:

- Estudio estructural y metalogénico del Batolito de Ricobayo con objeto de encuadrar regionalmente las estructuras mineralizadas y estudiar las posibilidades de estructuras similares en otras áreas.
- Ensayo de geofísica heliportada (aeromagnético, electromagnético, VLF, resistividades y radiométrico). Los resultados obtenidos definen muy bien las estructuras mineralizadas. A su vez se realizó geofísica terrestre (IP), sobre las principales estructuras, con resultados negativos.
- Geoquímica de suelos (malla 50 × 50) y cartografía geológica 1:5.000 sobre un área de 18 km<sup>2</sup>.  
Desmuestra litogeoquímico sistemático de las estructuras detectadas. Prospección geofísica (IP) de las principales estructuras, con resultados negativos.
- Sondeos mecánicos (en ejecución) sobre las principales anomalías detectadas en la geoquímica de suelos. Análisis sistemático de Au y As en muestras de 1 m (valor máx. 65 ppm Au).

#### Area de La Codosera (Badajoz)

Situada geográficamente al NO de la provincia de Badajoz y geológicamente en el borde meridional de la Zona Centro-Ibérica. Queda limitada al sur por la banda de cizalla Badajoz-Córdoba y se extiende hacia el norte hasta el granito de Albuquerque.

El área de interés principal se centra dentro del sinclinal de La Codosera, en cuyo núcleo afloran materiales del Devónico (calizas y pizarras) flanqueados por pizarras y cuarcitas de Ordovícico y Silúrico, en contacto discordante con los materiales del complejo esquisto-grauváquico. El flanco norte aparece suavemente plegado, aumentando la deformación de forma progresiva en el flanco sur, conforme se acerca a la banda de cizalla Badajoz-Córdoba.

El área estuvo sometida a un régimen de transpresión prolongada (SANDERSON et al., 1990) como ha puesto de manifiesto la disposición geo-

métrica de la fracturación tardihercínica, siendo interpretada según un modelo en *dominó*. Las fracturas N-S rotan a NO-SE con sentido dextro y actúan como antitéticas del cizallamiento senestral que afecta a la zona. En este contexto, las estructuras mineralizadas siguen fracturas de extensión NE-SO y N-S, de segundo orden, relacionadas con la zona de cizalla. La disposición mineral se produjo en zonas de dilatación en este tipo de estructuras (GUMIEL y GALLEGU, 1991).

Aparte del interés local de las mineralizaciones auríferas, ya conocidas desde antiguo en la zona de La Codosera, se extendió la exploración regional a todo el área de la reserva, hasta el granito de Albuquerque.

En la primera fase se realizó la prospección geoquímica y mineralométrica de sedimentos, delimitándose zonas de interés potencial, que han sido prospectadas mediante litogeoquímica y geoquímica táctica de suelos.

A su vez se realizó la gravimetría estructural sobre el área de La Codosera-Albuquerque, con objeto de definir la geometría, extensión y localización de cuerpos graníticos aflorantes u ocultos.

El análisis multiespectral de datos Landsat (TM) delimita la aureola de metamorfismo del batolito de Albuquerque y detecta una zona, con el mismo rango espectral de alteración al O de La Codosera.

La integración de datos de cartografía geológica, gravimetría, Landsat y aeroradiometría sugieren la presencia de un cuerpo granítico en profundidad al O de La Codosera, que ha podido favorecer el drenaje de los fluidos.

El estudio de inclusiones fluidas aportan para los fluidos auríferos una temperatura de 350°, son ricos en CO<sub>2</sub> y tienen contenidos apreciables en metano, que indican una interacción con las pizarras negras del Devónico (ROBERTS et al., 1991).

Las principales estructuras mineralizadas han sido reconocidas mediante sondeos mecánicos (ITGE, 1993).

#### Area de Hueznar-Constantina

Situada al norte de la provincia de Sevilla. La

reserva *Hueznar* comprende la hoja 1:50.000 de Ventas Quemadas y la reserva *Constantina* ocupa parte de las hojas de Constantina, Navas de la Concepción y Palma del Río.

Geológicamente se sitúa en el extremo suroriental del sector central de la zona de Ossa-Morena y a su vez en la parte suroriental del anticlinorio de Olivenza-Monesterio-Lora del Río. Los materiales aflorantes están comprendidos entre las series del Precámbrico y la serie detrítico-carbonatada del Cámbrico Inferior, predominando sobre la mayor parte del área una serie volcano-sedimentaria de transición intruida por diversos cuerpos básicos y ácidos. El conjunto de materiales está afectado por la deformación polifásica de la orogenia hercínica con desarrollo de estructuras cabalgantes y de cizalla, favorables a la reactivación de los procesos de concentración mineral. El metamorfismo regional es de bajo grado con excepción del complejo polimetamórfico de Lora del Río, donde se detecta una isograda de alta temperatura en relación con un domo térmico profundo, que ha dado lugar a la formación de granitoides anatócticos.

Las mineralizaciones auríferas existentes en el área se relacionan principalmente con bandas de deformación con desarrollo de estructuras miloníticas, fracturas o estructuras de cizalla, con brechificación, alteración hidrotermal y mineralización asociada de sulfuros (calcopirita, pirita, arsenopirita, pirrotina) ± oro nativo. Las principales bandas o estructuras de interés aurífero comprenden:

- La estructura de cizalla de Cortijo del Cid, que se extiende en dirección NNE-SSO en una longitud reconocida de 6 km, entre el borde oriental del granito de Ventas Quemadas y el complejo volcano-sedimentario de El Ventorrillo. Presenta una intensa brechificación y alteración hidrotermal con mineralización de sulfuros ± oro. El tramo sur de la estructura, en una longitud de 2 km, es el más interesante, con contenidos significativos de oro, asociado a calcopirita y arsenopirita.
- Banda de deformación Algarín-El Ciprés, de unos 4 km E-O por 500 m, dentro del complejo volcano-sedimentario de El Ventorrillo, en la parte más oriental de la hoja de Ventas Quemadas. Dentro de esta banda aparecen dos alineaciones principales en relación con

zonas de cizalla: una al sur, de 1,5 km, con cuarzo brechificado y sulfuros (Cpy, Py) ± Au; otra paralela, más al norte, en rocas carbonatadas, con zonas brechificadas y gossanizadas, con diseminaciones de sulfuros y magnetita.

- La formación blastomilonítica Constantina-Puebla de los Infantes, alineada según la dirección regional hercínica en una banda de 15 por 2 km. Se han identificado las distintas estructuras miloníticas con mineralización de sulfuros ± oro.

Los trabajos de exploración desarrollados en la reserva Hueznar comprenden:

- Prospección geoquímica multielemental y mineralométrica de la red de drenaje, cubriendo la totalidad del área. Se detectan anomalías significativas de oro, principalmente en las cuencas de los arroyos Barbacal y Parroso, así como anomalías de As y Cu en relación con la falla de Arenillas y otras estructuras, y de Y en relación con el granito de Ventas Quemadas.
- Cartografía geológico-minera 1:25.000 de la hoja de Ventas Quemadas. Se identifican las principales estructuras de interés aurífero.
- Estudio de teledetección, con análisis estructural y multiespectral. Se identifican distintas facies graníticas del macizo de Ventas Quemadas, y estructuras circulares, resaltando el domo térmico de Lora del Río.
- Cartografía geológica: 1:10.000 y 1:5.000 sobre las zonas anómalas de Au, As, Cu, Z, Pb.
- Geoquímica de suelos (malla 200/100×50/25), litogeoquímica y prospección geofísica (IP, MAG, VLF) sobre las principales estructuras de interés aurífero.
- Sondeos mecánicos sobre las principales anomalías de Au y IP de las zonas de Cortijo del Cid y Algarín.

En la reserva Constantina se llevó a cabo la prospección geoquímica multielemental y mineralométrica de sedimentos de arroyos, en todo el área, detectándose anomalías de As, Cu y Au, que se localizan principalmente dentro de la banda blastomilonítica. Se realizó la cartografía geológica 1:25.000 de esta formación, con identifica-

ción y desmuestra preliminar de las estructuras mineralizadas.

#### Area de Pirineo Central

Comprende las dos zonas de reserva provisional: Maladeta Norte y Tirvia.

*Maladeta Norte*.—Situada al norte de las provincias de Huesca y Lérida, en el núcleo del Pirineo Axial, constituido por materiales paleozoicos (rocas carbonatadas del Devónico y series del Cambro-Ordovícico) y diversos cuerpos intrusivos de carácter granodiorítico.

Como resultado de la campaña de exploración geoquímica multielemental en redes de drenaje, se detectaron anomalías de As, P, Mn, Cu, F, fundamentalmente, asociadas al contacto norte del Macizo Granodiorítico de La Maladeta, identificándose diversos afloramientos de skarns a lo largo de dicho contacto. De éstos el más interesante desde el punto de vista aurífero es el skarn de Lago Redondo, que se compone de varios lentejones sin continuidad aparente, en el contacto de una lámina granodiorítica con calizas del Devónico Superior. Son skarns de diopsido con granate, idocrasa accesorios, que han sido afectados en zonas por alteraciones tardías de carácter hidrotermal (apokarns) como silicificación, a la que acompañan transformaciones de los minerales de alta temperatura (anfíboles, epidota, ilvaíta...) y precipitación de sulfuros (pirita, calcopirita, pirrotina y sobre todo arsenopirita con oro subordinado).

Los cuerpos de skarn han sido estudiados en detalle y reconocidos por sondeos mecánicos.

*Tirvia*.—Comprende la hoja 1:50.000 de Tirvia. Los materiales aflorantes en el área están constituidos casi exclusivamente por las series de esquistos y cuarcitas del Cambro-Ordovícico.

En la realización del Programa de Exploración Sistemática se detectaron algunas anomalías particularmente intensas y estructuradas de As, Sb (con Zn y Pb) sin relación con mineralizaciones conocidas. El posterior reconocimiento de las mismas llevó a la selección de dos zonas con mayor interés:

- *Zona de Tor*. Las anomalías detectadas de Sb, As, Zn, Pb están relacionadas con un haz de

filones de cuarzo que se localiza en una banda de dirección E-O, que parece responder a una estructura de cizalla. Los muestreos superficiales efectuados señalan valores significativos de oro.

Con el fin de centrar las zonas de mayor interés se ha realizado un estudio estructural detallado y una prospección litogeoquímica.

— *Zona de Cerro Tudela.* Serie de afloramientos esquistosos con una fuerte silicificación y una diseminación de sulfuros (pirita, pirrotina, arsenopirita) con fuerte ferruginización en algunas zonas. No se observan filones de cuarzo.

Unos primeros perfiles de litogeoquímica han confirmado una amplia anomalía de As y Au, bien estructurada.

Se ha efectuado una cartografía geológica y análisis estructural de detalle, litogeoquímica y estudio de teledetección. Parece confirmarse que la zona se enmarca en una banda E-O limitada por accidentes tectónicos de esta dirección. Se ha identificado una amplia banda conteniendo una diseminación de pirrotina en esquistos algo silicificados, con calcopirita y oro muy accesorios. Se están ensayando métodos geofísicos (magnetometría) e intentando precisar los controles de esta mineralización.

#### Macizos ultrabásicos de Málaga (Ronda, Ojén, Carratraca)

Dentro de las ultrabásicas (Iherzonitas alpinas) del Macizo de Ojén, se distinguen dos tipos de mineralizaciones con oro:

- Oro asociado a mineralizaciones de Cr-Ni encajadas en peridotitas. Filones con cromita, niquelina, rammelsbergita, lollingita, pirrotina, calcopirita, cubanita, westerveldita, maucherita, gersdorffita, cordierita, ortopiroxeno.
- Oro en facies listveníticas (carbonatización-silicificación de peridotitas). Filones en relación con zonas de cizalla, en el borde de los macizos, con galena, blenda, calcopirita, marcasita, pirita, arsenopirita, oro nativo, carbonatos y óxidos de hierro, cuarzo.

Los trabajos de investigación, llevados a cabo

conjuntamente por el ITGE y Junta de Andalucía, han consistido en: cartografía geológica y metalogenética, geoquímica de sedimentos, mineralometría, geoquímica de suelos y apertura de calcatas.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradezco la colaboración de P. Florido, responsable del estudio del área de Pino, P. Gumiel, del área de La Codosera, J. Locutura, de las áreas de Ordenes y Pirineo Central, y M. Ruiz-Montes, de los Macizos Ultrabásicos de Málaga, y a su vez, directores de los proyectos del ITGE correspondientes, que se citan en las referencias documentales.

#### REFERENCIAS

- CATHELINEAU, M.; BOIRON, M. C.; ESSARRAJ, S.; BARAKAT, A.; GARCIA PALOMERO, F.; URBANO, R.; TOYOS, J. M.; FLORIDO, P.; PEREIRA, E.; MEIRELES, C.; FERREIRA, N.; CASTRO, P.; NORONHA, F.; DORIA, A.; RIBEIRO, M. A.; NOGUEIRA, P.; BARRIGA, F. MATEUS, A.; YARDLEY, B., y BANKS, D. (1993): *Major structural factors of Au concentrations in the northwestern Iberian Massif (Spain-Portugal): a multidisciplinary and multiscale study.* Proceedings of the Second biennial SGA meeting, «Current research in geology applied to ore deposit», 613-616.
- GONZALEZ-CLAVIJO, E. J.; ORTEGA, C.; FLORIDO, P., y LOCUTURA, J. (1994): *El control estructural de las mineralizaciones auríferas en la zona de Pino, provincia de Zamora (España).* Boletín Geológico y Minero. ITGE. Vol. 105-2. 178-189.
- GUTIERREZ-CLAVEROL, M.; MARTINEZ-GARCIA, E.; LUQUE, C.; SUAREZ, V., y RUIZ, F. (1991): *Gold deposits, Late Hercynian tectonics and magmatism in the northeastern Iberian Massif (NW Spain).* Chronique de la recherche minière. N.º 503.
- IGLESIAS, M., y CHOUKROUNE, P. (1980): *Shear Zones in the Iberian Arc.* Journal of Structural Geology.
- ITGE (1984): *Inventario de recursos nacionales de oro. 1.ª fase.* Centro de Documentación del ITGE.
- ITGE (1989): *Investigación geológico-minera en la reserva estatal Tomiño, para Au, Nb, Ta, Sn y W.* Centro de Documentación del ITGE.
- ITGE (1989): *Investigación de metales preciosos en la reserva Hueznar. Zona sur-oriental de Ossa-Morena (hoja de Ventas Quemadas).* Centro de Documentación del ITGE.
- ITGE (1990): *Estudio estructural del Plutón de Ricobayo y sus mineralizaciones asociadas.* Centro de Documentación del ITGE.

ITGE (1991): *Testificación de los sondeos realizados por la Junta de Castilla-León en el área de Pino.* Centro de Documentación del ITGE.

ITGE (1992): *Investigación de detalle en el área de Pino (Zamora).* Centro de documentación del ITGE.

ITGE (1993): *Ensayo de Polarización Inducida en el área de Pino.* Centro de Documentación del ITGE.

ITGE (1993): *Exploración minera en reservas estatales (sector NO). Reserva Tomiño.* Centro de Documentación del ITGE.

ITGE (1993): *Exploración minera en Extremadura (Area Sur del sinclinal de La Codosera) (3 vol.).* Centro de Documentación del ITGE.

ITGE (1994): *Reconocimiento de anomalías geoquímicas en distintas áreas del Pirineo Central. Fase 2.*

ITGE-C.E.C. (1993): *Multidisciplinary studies of Au-vein formation. Application to the Western part of the Hesperian Massif (Spain-Portugal).* Project N.º MA2M-CT90-0033.

ITGE-C.E.C. (1994): *Multidata set analysis for the development of metallogenic/economic models and exploration criteria for gold deposits in Western Europe.* Project N.º MA2M-CT90-0009(SMA).

J. ANDALUCIA-ITGE (1990): *Investigación de metales pre-*

*ciosos en la reserva Hueznar. Zona suroriental de Ossa-Morena (hoja de Ventas Quemadas).*

ORDÓÑEZ, J. L.; MOLINA, J., y URBANO, R. (1992): *Prospección de oro asociado a zonas de cizalla. Constantina (Sevilla).* III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca. Actas tomo 3: 405-409

PEREZ, L. C., y SANCHEZ-PALENCIA, F. J. (1985): *Yacimientos auríferos ibéricos en la antigüedad.* Investigación y Ciencia.

ROBERTS, S.; SANDERSON, D. J.; GUMIEL, P., y DEE, S. (1991): *Tectonic and fluid evolution of auriferous quartz veins from the La Codosera Area (SW Spain).* Economic Geology, Vol. 86, pp. 1012-22.

SANDERSON, D. J.; ROBERTS, S.; GUMIEL, P., y MCGOWAN, J. (1991): *Structural setting of the La Codosera area, in «Development of new multidisciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula».* Ed. P. Gumiel, C. Antón Pacheco, R. Campos: Publicaciones especiales del Boletín Geológico y Minero. ITGE.

URBANO, R.; TOYOS, J. M., y ASENSIO, B. (1992): *Mineralizaciones auríferas filonianas intragraníticas en el área de Tomiño (Pontevedra).* Cuaderno Lab. Xeolóxico de Laxe. Coruña. Vol. 17. 341-348.

Original recibido: Septiembre de 1994.

Original aceptado: Octubre de 1994.



## AGUAS SUBTERRANEAS

## Evaluación de la fiabilidad de la gestión de un acuífero.

Por J. TRILLA (\*) y J. ESTALRICH (\*\*)

## RESUMEN

La gestión de un elevado número de sistemas hídricos, tanto embalses como acuíferos, pretende, como un objetivo real, la optimización de la fiabilidad de abastecimiento. Muchos de los métodos más tradicionales a tales objetivos se basan en la simulación. En el presente trabajo presentamos un desarrollo matemático que basándose en la conveniente utilización de la Programación Dinámica Estocástica, junto con la Programación Lineal Estocástica, genera una vía alternativa que cumple una doble función. Por un lado, evalúa de forma absoluta la fiabilidad de ciertos tipos de modelos de gestión sin necesidad de efectuar simulación alguna. Por otro, mediante la adecuada definición de la función objetivo, permite obtener la máxima fiabilidad de abastecimiento que puede obtenerse de un determinado sistema hídrico. A fin de presentar la aplicabilidad de este desarrollo se ha escogido el acuífero del río Ridaura como caso de estudio.

*Palabras clave:* Programación Dinámica Estocástica, Programación Lineal Estocástica, Gestión de acuíferos, Fiabilidad de Abastecimiento.

## ABSTRACT

The real operation of a hidric system, both reservoirs and/or aquifers, has as a main purpose the optimal release reliability. The most common methods for such a purpose are based on simulation. In this work we present an approach based on Stochastic Dynamic Programming and on Stochastic Linear Programming. This approach fulfills a double function. From one side, it allows to obtain an absolute evaluation of the reliability of certain management models without the need of performing simulation. And from other side, after the adequate formulation of the objective function, it is capable of optimizing the reliability of the system. In order to illustrate the validity of these assertions the aquifer of the Ridaura river has been chosen.

*Key words:* Stochastic Dynamic Programming, Stochastic Linear Programming, Aquifer Management, Reliability.

## 1. INTRODUCCION

Acuíferos y embalses representan los dos sistemas principales mediante los cuales pueden regularse los recursos hídricos de una región. Como tales sistemas son por ello susceptibles de gestionarse utilizando alguna técnica matemática adecuada a tales propósitos. Sin embargo, encontramos en la literatura especializada, que no todas estas técnicas son igualmente apli-

cadadas a acuíferos y embalses. Varias razones pueden aducirse a ello. Así, tenemos que la dinámica hídrica propia de cada uno de esos sistemas es uno de los principales elementos condicionantes (TRILLA y ESTALRICH, 1991b). Por otra parte, encontramos que los objetivos propios a la gestión de embalses acostumbran a ser bastante diversos: producción de electricidad, abastecimiento de centros de consumo urbanos o agrícolas, protección de avenidas, regulación de caudales ecológicos, navegación, etc. Mientras que en el caso de acuíferos estos objetivos se limitan, en general, al abastecimiento de centros de consumo. Esto condiciona que el interés económico asociado a la gestión de un embalse sea generalmente mucho mayor que el

de los acuíferos y por tanto sean éstos objeto de menor atención.

De todos modos, hay que resaltar que en una situación real, la gestión de uno de esos sistemas, sea embalse o acuífero, pretende como un objetivo de máxima importancia asegurar el cumplimiento de los volúmenes de agua demandados o contratados en cada período. Cuando esto no es posible, es un objetivo natural pretender que esta probabilidad sea máxima. Dicho de otro modo, se pretende la optimización de la fiabilidad de abastecimiento. En la literatura especializada podemos encontrar diversos ejemplos de modelos de gestión que pretenden o bien la optimización de esta fiabilidad (ROSSMAN, 1977; ASKEW, 1974; SNIEDOVICH, 1979), o bien la evaluación de una política de gestión ya decidida (HASHIMOTO et al., 1982; MOY et al., 1986; STRYCHARCZYK and STEDINGER, 1987). Hay que indicar que la mayor parte de estos procedimientos requieren simulación, lo que representa una dificultad adicional.

En este trabajo queremos mostrar una alternativa a este tipo de procedimiento. Esta alternativa está basada en el especial tratamiento de la gestión de sistemas hídricos que realiza la Programación Dinámica Estocástica (P.D.E.) y su asociada Programación Lineal Estocástica (P.L.E.). Como consecuencia de ello, va a ser posible por un lado, obtener una evaluación absoluta de la fiabilidad de una política de gestión arbitraria, y por otro, obtener una política de gestión que maximiza la fiabilidad de abastecimiento que puede proporcionar el sistema. Asimismo, va a presentarse la aplicación de este tipo de tratamiento en el caso del acuífero del río Ridaura. Este trabajo podría haberse igualmente basado sobre un embalse, pero el conocimiento que ya se posee sobre el acuífero del río Ridaura escogido (TRILLA y ESTALRICH, 1991a) y la repercusión que estos conocimientos derivados tienen sobre el acuífero pueden resaltar la importancia de la metodología empleada.

Una descripción adecuada del acuífero del río Ridaura escogido a nuestros fines puede verse en TRILLA y ESTALRICH (1991a). De todos modos destacaremos que este acuífero puede considerarse como un embalse subterráneo de una capacidad máxima de almacenamiento de agua del orden de 7 Hm<sup>3</sup>. Sin embargo el volumen almacenado de agua no puede ser inferior a

3 Hm<sup>3</sup>, pues se sabe que entonces aparecen serios problemas de calidad. El objetivo de la explotación de este acuífero es el abastecimiento de varios pueblos turísticos costeros: Platja d'Aro, S. Feliu de Guixols, Sta. Cristina d'Aro y Castell d'Aro que demandan la siguiente distribución de volúmenes de agua: Invierno (1 enero-31 marzo) 0.7 Hm<sup>3</sup>; Primavera (1 abril-30 junio), 1.0 Hm<sup>3</sup>; Verano (1 julio-30 septiembre), 2.2 Hm<sup>3</sup>, y Otoño (1 octubre-31 diciembre) 0.7 Hm<sup>3</sup>.

Pasaremos a continuación a revisar los puntos más relevantes de las técnicas de P.D.E. y P.L.E. y su adecuada formulación para los fines de nuestro problema. Después presentaremos los resultados obtenidos en el caso del acuífero del río Ridaura.

## 2. INTRODUCCION MATEMATICA

P.D.E. es una de las técnicas más utilizadas en la gestión de sistemas hídricos (YAKOWITZ, 1982; YEH, 1985) y capaz de presentarse bajo distintas formulaciones y notaciones. No obstante, una formulación típica de la gestión de acuíferos mediante P.D.E. es, siguiendo la notación de LOUCKS et al. (1981), como sigue:

$$F^n(k, i, t) = \max_i [R_{k,i,t} + \sum_{j=1}^N P_{i,j}^t F^{n-1}(j, t+1)] \quad \forall k, i, t \quad [1]$$

sujeto a restricciones tales como de balance de masas:

$$S_i^{t+1} = S_i^t + I_i^t - Q_{k,i,t}^t \quad \forall t \quad [2]$$

y otras propias de cada caso concreto y que en general pueden representarse como:

$$H(Q_{k,i,t}^t, S_i^t) \leq 0 \quad [3]$$

donde:

t.—Número de período; generalmente mes o estación climatológica. En nuestro caso significará esto último.

k, l.—Respectivamente, índices para el volumen de agua almacenado al principio de los períodos t y t + 1.

(\*) Catedrático. Unidad de Geodinámica Externa e Hidrogeología. Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Bellaterra. Barcelona.

(\*\*) Profesor Titular. Unidad de Geodinámica Externa e Hidrogeología. Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Bellaterra. Barcelona.

$i, j$ .—Índices para la recarga neta en los períodos  $t$  y  $t + 1$ , respectivamente.

$F^n(k, i, t)$ .—Máximo beneficio esperado cuando faltando  $n$  decisiones para tomar, el acuífero presenta un volumen almacenado  $S_k^i$ , al principio del período  $t$  y se prevé una recarga neta  $l_i^t$ .

$P_{i,j}^t$ .—Probabilidad de una recarga neta  $l_i^{t+1}$  en el período  $t + 1$  cuando la recarga neta en el período  $t$  es  $l_i^t$ .

$R_{k,i,l,t}$ .—Beneficio asociado cuando el acuífero presenta un volumen  $S_k^i$  al inicio del período  $t$ , un volumen final  $S_k^{i+1}$ , una extracción  $Q_{k,i,l}^t$ , y una previsión de recarga  $l_i^t$ .

La resolución del sistema de ecuaciones [1]-[3] resulta en una tabla de decisión que presenta el volumen final de agua  $S_k^{i+1}$  que debe quedar remanente en el acuífero para cada combinación de volumen inicial  $S_k^i$  y recarga neta  $l_i^t$  en cada período; matemáticamente  $l = l(k, i, t)$ .

Ocurre que la tabla de decisión obtenida mediante P.D.E. y que representa la óptima gestión del acuífero para una determinada definición de  $R_{k,i,l,t}$ , puede asimismo obtenerse mediante otro procedimiento denominado por LOUCKS y FALKSON (1970) como Programación Lineal Estocástica (P.L.E.) y que bajo la notación empleada en [1] adquiere la siguiente forma:

$$\max \sum_k \sum_i \sum_l \sum_t R_{k,i,l,t} \cdot Pr_{k,i,l,t} \quad [4]$$

con las siguientes restricciones:

$$\sum_k \sum_i \sum_l Pr_{k,i,l,t} = 1 \quad \forall t \quad [5]$$

$$\sum_k \sum_i Pr_{k,i,l,t} \cdot P_{i,j}^t = \sum_m Pr_{l,j,m,t+1} \quad \forall l, j, t \quad [6]$$

$$Pr_{k,i,l,t} \geq 0 \quad \forall k, i, l, t \quad [7]$$

donde:

$Pr_{k,i,l,t}$ .—Constituyen las probabilidades conjuntas de un volumen inicial  $S_k^i$  un volumen final  $S_k^{i+1}$  y una recarga  $l_i^t$  en el período  $t$ . Son las variables de decisión.

Se ha visto (BURAS, 1985; ALOUZE, 1989) que estas probabilidades  $Pr_{k,i,l,t}$ , constituyen una adecuada medida de la fiabilidad del acuífero ante la gestión presente en la tabla de decisión derivada de [1]-[3] o de [4]-[7]. En nuestro caso nos van a permitir obtener un conocimiento adicional del comportamiento del acuífero.

Si observamos con detenimiento la función objetivo de la ecuación [4] vemos que ésta se puede interpretar como la maximización de la suma de las probabilidades  $Pr_{k,i,l,t}$  ponderadas por sus correspondientes factores  $R_{k,i,l,t}$ . Es decir, cuanto más alto sea el valor de  $R_{k,i,l,t}$  tanta más importancia estamos dando a una cierta combinación  $k, i, l, t$ . Por ello, si resulta que definimos nuestra función beneficio de la siguiente forma (TRILLA y ESTALRICH, 1992):

$$R_{k,i,l,t} = \begin{cases} 1 & \text{if } Q_{k,i,l}^t \geq TR_t; \\ 0 & \text{elsewhere;} \end{cases} \quad [8]$$

donde  $TR_t$  toma el valor del volumen mínimo de agua a extraer durante el período  $t$ , podemos derivar diversas consecuencias.

En primer lugar podemos observar que la solución de [4]-[8] representa la maximización de la suma de sólo aquellas probabilidades que resultan en una deseable combinación  $k, i, l, t$ . Es decir, representa la maximización de la fiabilidad de abastecimiento conjunta a todos los períodos. Aún más, dado el carácter de optimalidad asociado a la tabla de decisión resultante de la solución [4]-[8], ninguna otra tabla de decisión resultaría en una mayor fiabilidad total de abastecimiento. Es decir, cuando la tabla de decisión a emplear en un sistema hídrico ha sido obtenida de la solución de [1]-[3] o [4]-[7] con  $R_{k,i,l,t}$  definido como en [8], el valor de [4] obtenido representa la máxima fiabilidad natural que puede derivarse de ese sistema. Dada la distribución estocástica de entradas y el volumen almacenable en el sistema, no puede darse mayor fiabilidad conjunta de abastecimiento. Como corolario, podemos decir además, que el aumento de la fiabilidad de abastecimiento en un determinado período se vería compensado por una pérdida como mínimo igual o mayor de fiabilidad en otros períodos.

Por otra parte, ocurre que a fin de obtener las probabilidades conjuntas  $Pr_{k,i,l,t}$  no se utiliza la

P.L.E. [4]-[7] dado el elevado tiempo de cálculo que comporta. Es mucho más aconsejable resolver el sistema [1]-[3] y emplear su solución en resolver el siguiente sistema de ecuaciones para aquellas decisiones definidas por  $l = l(k, i, t)$  (LOUCKS et al., 1981):

$$\sum_k \sum_i Pr_{k,i,t} \cdot P_{i,j}^t = Pr_{l,j,t+1} \quad \forall l, j, t \quad [9]$$

$$\sum_k \sum_i Pr_{k,i,t} = 1 \quad \forall t \quad [10]$$

donde:

$Pr_{k,i,t}$ : Constituyen las probabilidades conjuntas de disponer de un volumen de agua inicial  $S_k^i$  y de que tenga lugar una recarga  $l_i$  en el período  $t$ .

Obsérvese que con este procedimiento, no importa como hayamos obtenido la tabla de decisión  $l = l(k, i, t)$ , siempre que tengamos asociado un único volumen final a cada combinación de volumen inicial y recarga para cada período podemos resolver el sistema [9]-[10] y obtener las probabilidades  $Pr_{k,i,t}$ . Esto puede servir para evaluar y comparar de forma absoluta tablas de decisión arbitrarias. Para ello, basta con sumar las probabilidades ( $Pr_{k,i,t}$ ), de aquellas combinaciones  $k, i, l, t$ , resultantes en un  $Q_{k,i,l}^t \geq TR_t$ . Esta suma será siempre inferior al número de períodos utilizados (NT) dado que, en virtud de la definición dada en [8] a  $R_{k,i,l,t}$ , el valor máximo que puede obtenerse en [4] es el número de períodos utilizados (NT). Por tanto, cuanto más alejado esté del valor NT la suma de las probabilidades  $Pr_{k,i,t}$ , derivadas de la tabla  $l = l(k, i, t)$ , tanto menor será la fiabilidad conjunta de abastecimiento de los volúmenes demandados ( $TR_t$ ). Lo que constituye a todas luces una medida absoluta de la fiabilidad de abastecimiento.

Son éstos resultados que consideramos interesantes sobre el comportamiento de un sistema, embalse o acuífero, y que afectan a un aspecto tan importante como es la evaluación tanto de la fiabilidad de abastecimiento que puede derivarse de la aplicación de una determinada tabla de decisión como de la fiabilidad natural máxima de abastecimiento que ofrece dicho sistema. A continuación iremos aplicando sucesivamente cada uno de estos conceptos en el caso del acuífero del río Ridaura.

### 3. EVALUACION DE LA GESTION ACTUAL DEL ACUIFERO

En la gestión del acuífero del río Ridaura el principal objetivo es el abastecimiento a los núcleos de población. Por ello, no es de extrañar que el régimen real de extracción venga condicionado esencialmente por las demandas y no exista una planificación que busque la máxima fiabilidad de abastecimiento. Al no poder disponer de la tabla de decisión de la gestión real del acuífero hemos confeccionado la tabla I que intenta reflejar el régimen actual de gestión. En esta tabla se ha definido siempre un valor de  $l$ , para cada combinación de  $k, i, t$ , de tal modo que el valor de  $Q_{k,i,l}^t$  resultante fuese lo más próximo o superior a  $TR_t$ .

Con los valores de esta tabla, conjuntamente con las probabilidades de recarga definidas para este acuífero (TRILLA y ESTALRICH, 1991a), se resolvió el sistema de ecuaciones [9]-[10] obteniendo las probabilidades conjuntas y presentadas de forma acumulada gráficamente en la figura 1.

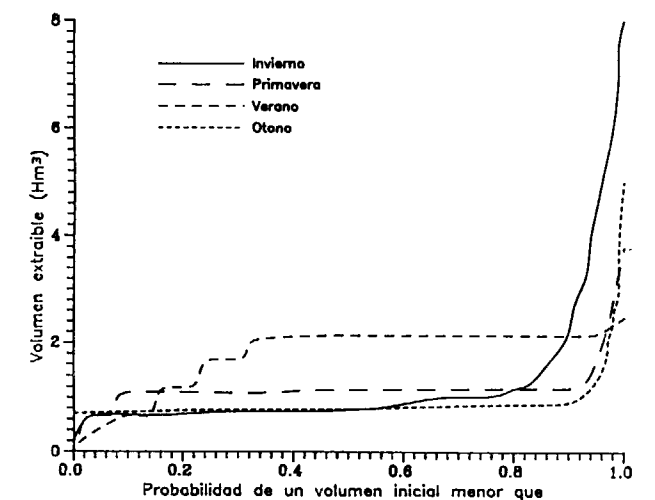


Figura 1.—Probabilidades PR para cada período estacional (gestión actual).

De la observación de esta figura 1 se desprende que la actual gestión del acuífero no garantiza una total fiabilidad de abastecimiento, a lo largo del año, de los volúmenes demandados. La solución de [4] para los valores obtenidos (2.82) no se puede considerar próxima al valor de  $NT=4$

**TABLA I**

**Tabla de decisión de la gestión actual indicando el volumen final  $S_t$  ( $Hm^3$ ) como función del volumen inicial  $S_k$  ( $Hm^3$ ), recarga  $I_i$  ( $Hm^3$ ) y periodo  $t$**

Periodo 1 (Invierno) - 1 enero - 31 marzo								Periodo 2 (Primavera) - 1 abril - 30 junio					
$S_k$	$I_i$							$S_k$	$I_i$				
	0.32	0.75	1.08	1.67	2.00	3.23	8.00		0.18	0.64	1.08	2.20	3.80
3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0	5.5	7.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.5
3.5	3.0	3.5	3.5	4.5	4.5	6.0	7.0	3.5	3.0	3.0	3.5	4.5	6.0
4.0	3.5	4.0	4.0	5.0	5.0	6.5	7.0	4.0	3.0	3.5	4.0	5.0	6.5
4.5	4.0	4.5	4.5	5.5	5.5	7.0	7.0	4.5	3.5	4.0	4.5	5.5	7.0
5.0	4.5	5.0	5.0	6.0	6.0	7.0	7.0	5.0	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0
5.5	5.0	5.5	5.5	6.5	6.5	7.0	7.0	5.5	4.5	5.0	5.5	6.5	7.0
6.0	5.5	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0	5.0	5.5	6.0	7.0	7.0
6.5	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	6.5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0
7.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0

Periodo 3 (Verano) - 1 julio - 30 septiembre					Periodo 4 (Otoño) - 1 octubre - 31 diciembre						
$S_k$	$I_i$				$S_k$	$I_i$					
	0.16	0.67	1.14	1.98		0.86	1.30	1.76	2.38	3.45	5.00
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.5	7.0
3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0
4.0	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.5	7.0
4.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	7.0
5.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0
5.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0
6.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0
6.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
7.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0

que puede obtenerse como máximo en nuestro planteamiento. Pasemos ahora a evaluar la fiabilidad máxima natural del acuífero para abastecer los volúmenes demandados.

**3. EVALUACION DE LA FIABILIDAD MAXIMA DE ABASTECIMIENTO**

A fin de evaluar la máxima fiabilidad de abastecimiento que puede obtenerse de este acuífero procedimos a la resolución del sistema de ecuaciones [1]-[3] con  $R_{k,i,t}$  definido como en [8] obteniendo la tabla de decisión presentada en la tabla II.

Asimismo, resolviendo el correspondiente sistema de ecuaciones [9]-[10] obtuvimos las probabilidades PR presentadas de forma acumulada en la figura 2.

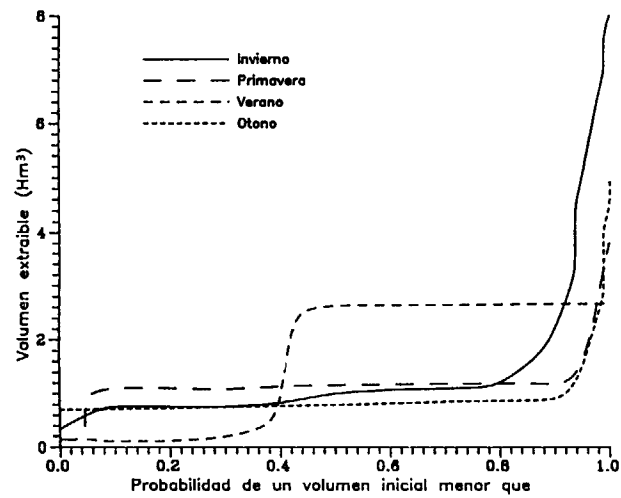


Figura 2.—Probabilidades PR para cada periodo estacional (gestión óptima).

En esta misma figura 2 puede asimismo observarse que incluso con la tabla de decisión (tabla II) que maximiza la fiabilidad conjunta de abastecimiento, en todos los periodos estacionales no puede garantizarse el abastecimiento. El valor de la suma dado por la ecuación [4], en este caso de (3.58), está aún alejado del máximo

de  $NT=4$ . Es decir, el acuífero del río Ridaura es incapaz de garantizar con total fiabilidad, ante las actuales circunstancias naturales de capacidad de almacenamiento y régimen de lluvias, la distribución y totalidad de volúmenes demandados.

**TABLA II**

**Tabla de decisión indicando el volumen final  $S_t^*$  ( $Hm^3$ )  $I^* = I(k, i, t)$ , resultante del modelo de gestión**

Periodo 1 (Invierno) - 1 enero - 31 marzo								Periodo 2 (Primavera) - 1 abril - 30 junio					
$S_k$ ( $Hm^3$ )	$I_i$ ( $Hm^3$ )							$S_k$ ( $Hm^3$ )	$I_i$ ( $Hm^3$ )				
	0.32	0.75	1.08	1.67	2.00	3.23	8.00		0.18	0.64	1.08	2.20	3.80
3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0	5.5	7.0	3.0	3.0	3.5	3.0	4.0	5.5
3.5	3.0	3.5	3.5	4.0	4.5	6.0	7.0	3.5	3.5	3.0	3.5	4.5	6.0
4.0	3.5	4.0	4.0	4.5	5.0	6.5	7.0	4.0	3.0	3.5	4.0	5.0	6.5
4.5	4.0	4.5	4.5	5.0	5.5	7.0	7.0	4.5	3.5	4.0	4.5	5.5	7.0
5.0	4.5	5.0	5.0	5.5	6.0	7.0	7.0	5.0	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0
5.5	5.0	5.5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0	5.5	4.5	5.0	5.5	6.5	7.0
6.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	6.0	5.0	5.5	6.0	7.0	7.0
6.5	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	6.5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0
7.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0

Periodo 3 (Verano) - 1 julio - 30 septiembre					Periodo 4 (Otoño) - 1 octubre - 31 diciembre						
$S_k$ ( $Hm^3$ )	$I_i$ ( $Hm^3$ )				$S_k$ ( $Hm^3$ )	$I_i$ ( $Hm^3$ )					
	0.16	0.67	1.14	1.98		0.86	1.30	1.76	2.38	3.45	5.00
3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	3.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.5	7.0
3.5	3.0	3.5	4.0	4.5	3.5	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0
4.0	3.0	3.5	4.0	4.5	4.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.5	7.0
4.5	3.0	3.5	4.0	4.5	4.5	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	7.0
5.0	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0
5.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0
6.0	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0
6.5	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
7.0	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0

**4. CONCLUSIONES**

El conocimiento de la fiabilidad de abastecimiento que un determinado régimen de gestión puede obtener de un sistema hídrico resulta un elemento que puede ser evaluado tanto por simulación como mediante las probabilidades conjuntas definidas por LOUCKS y FALKSON (1970). Utilizar como elemento de evaluación estas últimas pro-

babilidades posee como una ventaja inherente el hecho de que no requiere simulación alguna.

Otra ventaja adicional, de este último mecanismo de evaluación consiste en que puede ser utilizado para obtener la fiabilidad de abastecimiento que produce cualquier tipo de régimen de explotación. Aún más, si se escoge el tipo de función objetivo binario presentado en este trabajo puede obtenerse una medida absoluta de la fiabili-

dad de abastecimiento. Igualmente, las especiales características que dicha función objetivo impone al planteamiento del problema, permite optimizar la fiabilidad de abastecimiento. Hasta ahora ningún otro procedimiento o planteamiento del problema de gestión de sistemas hídricos permitía realizar esta función tan directamente. Lo cual representa la novedad aportada por esta metodología.

En lo que respecta a las conclusiones particulares referentes al acuífero del río Ridaura, se observa que el actual régimen de gestión no permite garantizar con total fiabilidad los volúmenes demandados. Con otro régimen de explotación como el presentado en la tabla II, podría aumentarse dicha fiabilidad, pero sin llegar a su total garantía. El volumen regulador del acuífero así como el régimen de recarga y demandas lo impide. Establecer un cierto nivel de riesgo a aceptar por parte del gestor del acuífero es tema susceptible de investigaciones futuras.

#### REFERENCIAS

- ALAOUZE, C. M. (1989): *Reservoir Releases to Uses with Different Reliability Requirements*, Water Res. Bull. 25(6), 1163-1168.
- ASKEW, A. J. (1974): *Optimum Reservoir Operating Policies and the imposition of a Reliability Constraint*, Water Resour. Res., 10(1), 51-56.
- BURAS, N. (1985): *An Application of Mathematical Programming in Planning Surface Water Storage*, Water Res. Bull. 21(6), 1013-1020.
- HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R., y LOUCKS, D. P. (1982):

*Reliability, Resilience and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation*, Water Resour. Res., 18(1), 14-20.

LOUCKS, D. P., y FALKSON, L. M. (1970): *A Comparison of some Dynamic, Linear and Iteration Methods for Reservoir Operation*, Water Res. Bull., 6(3), 384-400.

LOUCKS, D. P.; STEDINGER, J. R., y HAITH, D. A. (1981): *Water Resource Systems Plannings and Analysis*, Prentice-Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.

MOY, W.-S., COHON, J. L., y REVELLE, CH. S. (1986): *A Programming Model for Analysis of the Reliability, Resilience, and Vulnerability of a Water Supply Reservoir*, Water Resour. Res., 22(4), 489-498.

ROSSMAN, A. L. (1977): *Reliability-Constrained Dynamic Programming and Randomized Release Rules in Reservoir Management*, Water Resour. Res., 13(2), 247-255.

SNIEDEVICH, M. (1979): *Reliability-Constrained Reservoir Control Problems. 1. Methodological Issues*, Water Resour. Res., 15(6), 1574-1582.

STRYCHARCZYK, J. B., y STEDINGER, J. R. (1987): *Evaluation of a «Reliability Programming» Reservoir Model*, Water Resour. Res., 23(2), 225-229.

TRILLA, J., y ESTALRICH, J. (1991a): *Un modelo de evaluación de la capacidad reguladora de un acuífero*, Bol. Geol. Min. España, 102(4), 550-555.

TRILLA, J., y ESTALRICH, J. (1991b): *La naturaleza del problema de la gestión de sistemas hídricos superficiales y subterráneos*, Bol. Geol. Min. España, 102(6), 850-856.

TRILLA, J., y ESTALRICH, J. (1992): *Optimizing the Probabilities of Water Yield for the Ridaura Aquifer (Spain)*, Water Res. Bull. 28(2), 337-342.

YAKOWITZ, S. (1982): *Dynamic Programming Applications in Water Resources*, Water Resour. Res., 18(4), 673-696.

YEH, W. W.-G. (1985): *Reservoir Management and Operations Models: a State-of-the-art Review*, Water Resour. Res., 21(12), 1797-1818.

Original recibido: Diciembre de 1993.  
Original aceptado: Octubre de 1994.

## Efecto de la colmatación en la estimación de la vida útil de una instalación de recarga artificial.

Por J. M. MURILLO DIAZ (\*)

#### RESUMEN

Se realiza una síntesis de los resultados obtenidos en la experiencia de recarga artificial efectuada en el acuífero aluvial del valle del río Oja. El análisis que se presenta no incide en la respuesta piezométrica experimentada por el acuífero, sino que se centra fundamentalmente en la reducción de la capacidad de recarga por aportación de materia en suspensión y en la necesidad de tener presente este factor en la modelización matemática.

*Palabras clave:* Recarga artificial, Colmatación, Tasa de infiltración, Vida útil y Modelización matemática.

#### ABSTRACT

A synthesis of the artificial recharge results obtained in the río Oja valley alluvial aquifer is shown. The made analysis does not impinge on the piezometric response of the aquifer, but mainly in the recharge capacity reduction and the necessity of considering this factor for the mathematic modelization.

*Key words:* Artificial Recharge of Groundwater, Clogging, Infiltration Rate, Installation recharge working life, Mathematic modelization.

#### INTRODUCCION

La recarga artificial constituye una técnica a utilizar en la siempre difícil tarea de corregir el desequilibrio hídrico causado por una explotación excesiva, así como en la recuperación de la calidad del agua subterránea. Sin embargo, es muy importante resaltar que su aplicación exige condicionantes muy específicos, que limitan su aplicación a determinados tipos de acuíferos que presentan unas características tanto internas como externas muy concretas. Asimismo, es un elemento normalmente complicado de gestión, cuya eficiencia depende en buena medida de la adecuada utilización y mantenimiento de los distintos componentes que integran la instalación de recarga.

El número de experiencias piloto realizadas hasta el momento en España es muy limitado. Ahora bien, los resultados obtenidos son muy esperan-

zados. No obstante, el éxito o fracaso que determinará la aplicabilidad a gran escala de un conjunto coordinado de actuaciones fundamentadas en esta técnica, está condicionado a la realización de estudios específicos de viabilidad y a la experimentación *in situ* sobre instalaciones piloto.

A este respecto, resultan muy interesantes, por la posible extrapolación que se puede realizar de los resultados obtenidos, los estudios efectuados por el ITGE, entre 1977 y 1991, en el acuífero aluvial del río Oja.

#### CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL ACUIFERO RECEPTOR

El acuífero aluvial del río Oja (fig. 1) presenta una superficie de 80 km<sup>2</sup>, un espesor variable entre 4,5 y 20 m, una permeabilidad muy alta y una velocidad real de flujo subterráneo que

(\*) Instituto Tecnológico Geominero de España.



**SITUACION DE LOS DISPOSITIVOS DE RECARGA Y CONTROL DE LA MISMA EN EL ACUIFERO ALUVIAL DEL RIO OJA. PLANO HIDROGEOLOGICO**

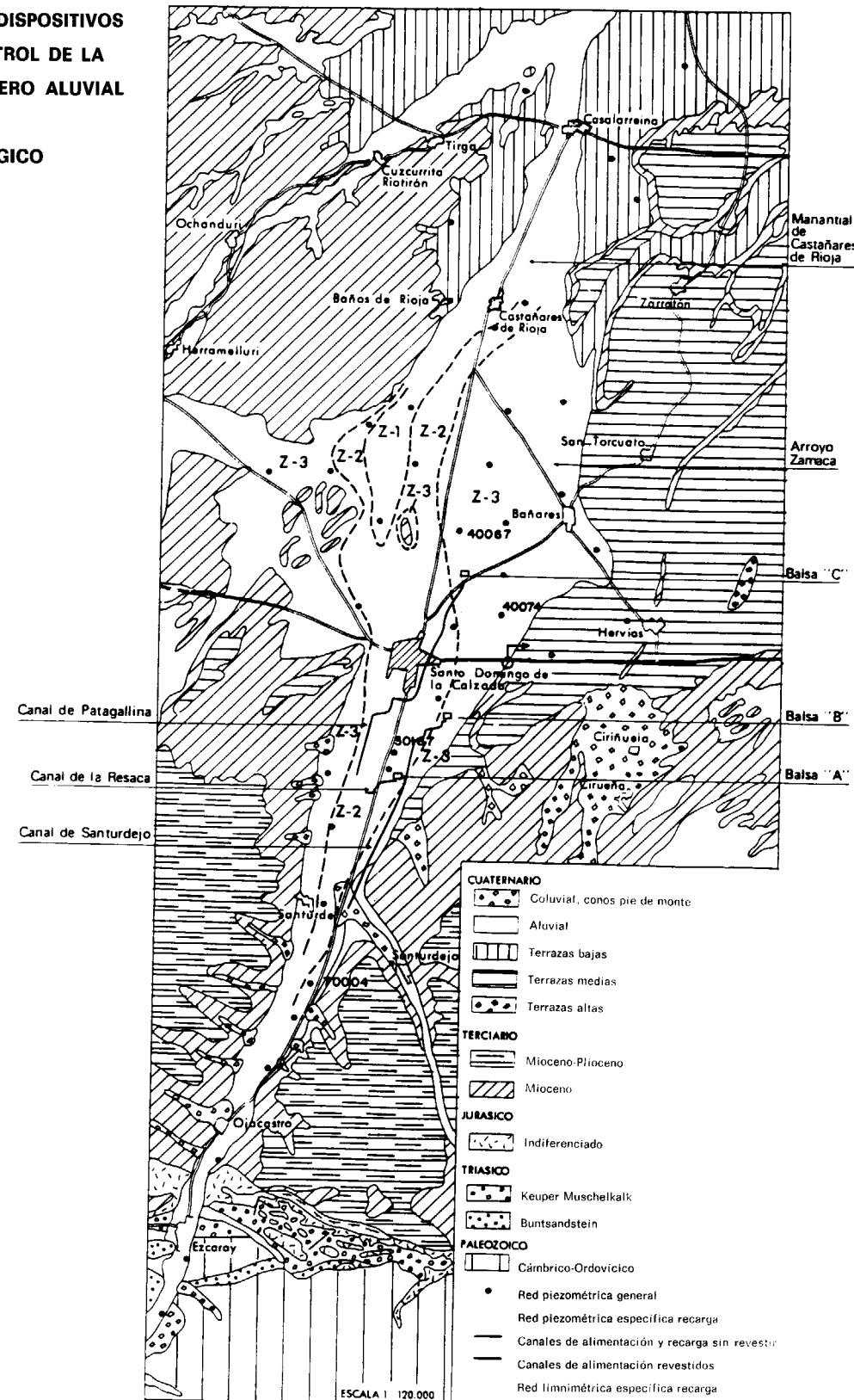


Figura 1.

oscila entre 200 y 400 m/día. El acuífero se encuentra conectado hidráulicamente con el río que le da nombre y se recarga, fundamentalmente, por la infiltración que tiene lugar a través del lecho del río Oja, en su zona de cabecera, durante los meses de invierno y primavera; ya que en los meses de estío el cauce permanece completamente seco. Esta falta de recarga durante el periodo más cálido, unida a un importante bombeo agrícola, da lugar a fuertes descensos de nivel piezométrico en esta época que, sin embargo, se recuperan rápidamente (fig. 2) en cuanto comienza a circular agua por el río.

Las experiencias de recarga realizadas en el valle del río Oja, durante los años 1987 y 1988, a través de tres balsas de infiltración y 10 km de canales, pusieron de manifiesto (fig. 3) una casi inmediata respuesta, causa-efecto, entre la evolución piezométrica a diferentes distancias de los dispositivos de recarga (algunas superiores al kilómetro) y las entradas de agua a las balsas. Este hecho presupone que la velocidad de circulación del agua subterránea en el seno del acuífero tenía que ser muy elevada. Este supuesto se ratificó mediante la realización de ensayos con trazadores que permitieron determinar que, aproximadamente, el agua recargada volvía a salir por los drenajes naturales del acuífero (los localizados más cerca de las instalaciones de infiltración) en un espacio de tiempo no superior al mes.

Por lo que respecta a la dirección que siguió el agua de recarga, los trazadores pusieron de manifiesto una trayectoria clara hacia la pequeña cuenca del arroyo Zamaca, que se vio justificada por el nacimiento de dicho arroyo durante el tiempo en que se recargó, así como por los encharcamientos que se produjeron aguas abajo de este manantial. No obstante, al poco tiempo de cesar la recarga dejó de fluir agua en estos puntos. Tanto los encharcamientos, como la circulación de agua por el curso alto del arroyo Zamaca únicamente parecen tener lugar, de una forma natural, en años húmedos o muy húmedos, es decir, cuando la recarga del acuífero es considerablemente superior a la media.

En acuíferos con unas características hidrogeológicas como el presente (alta permeabilidad, elevada velocidad de flujo subterráneo, recuperación total de niveles de un año a otro, drenaje rápido a través de las surgencias naturales, redu-

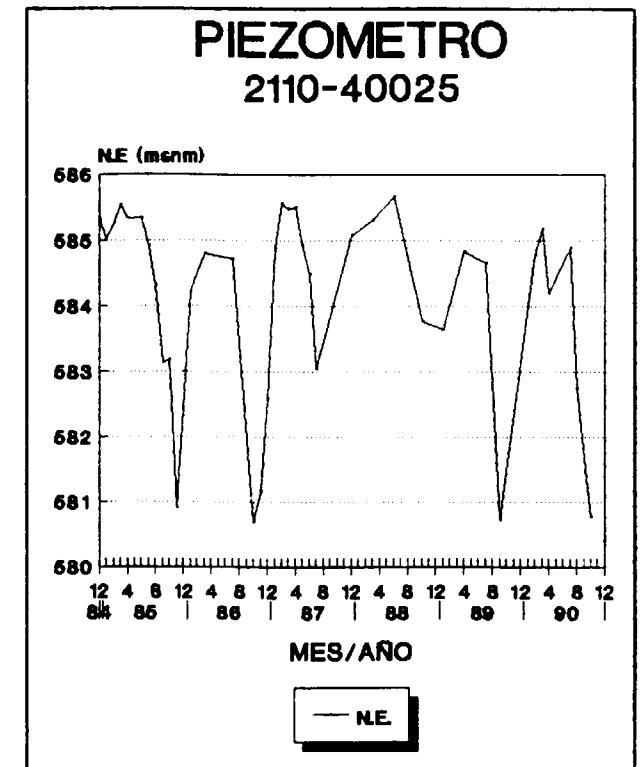
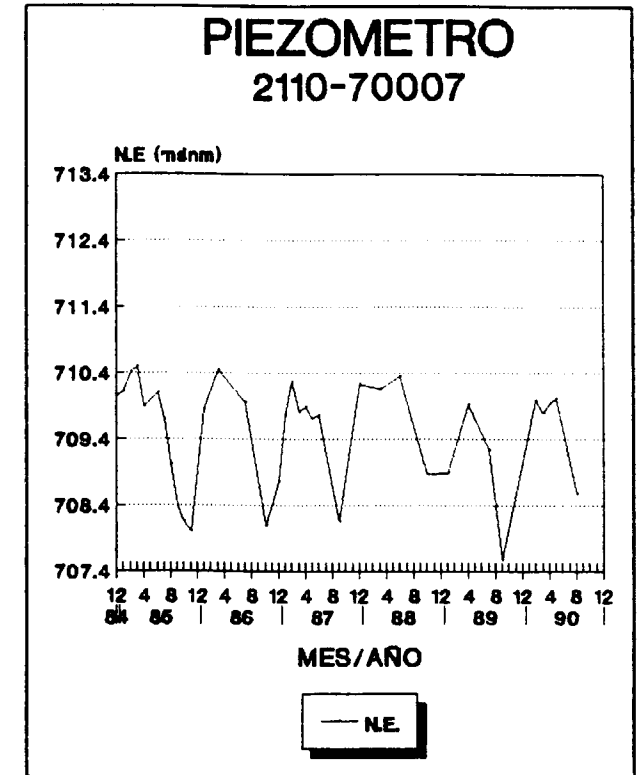


Figura 2.

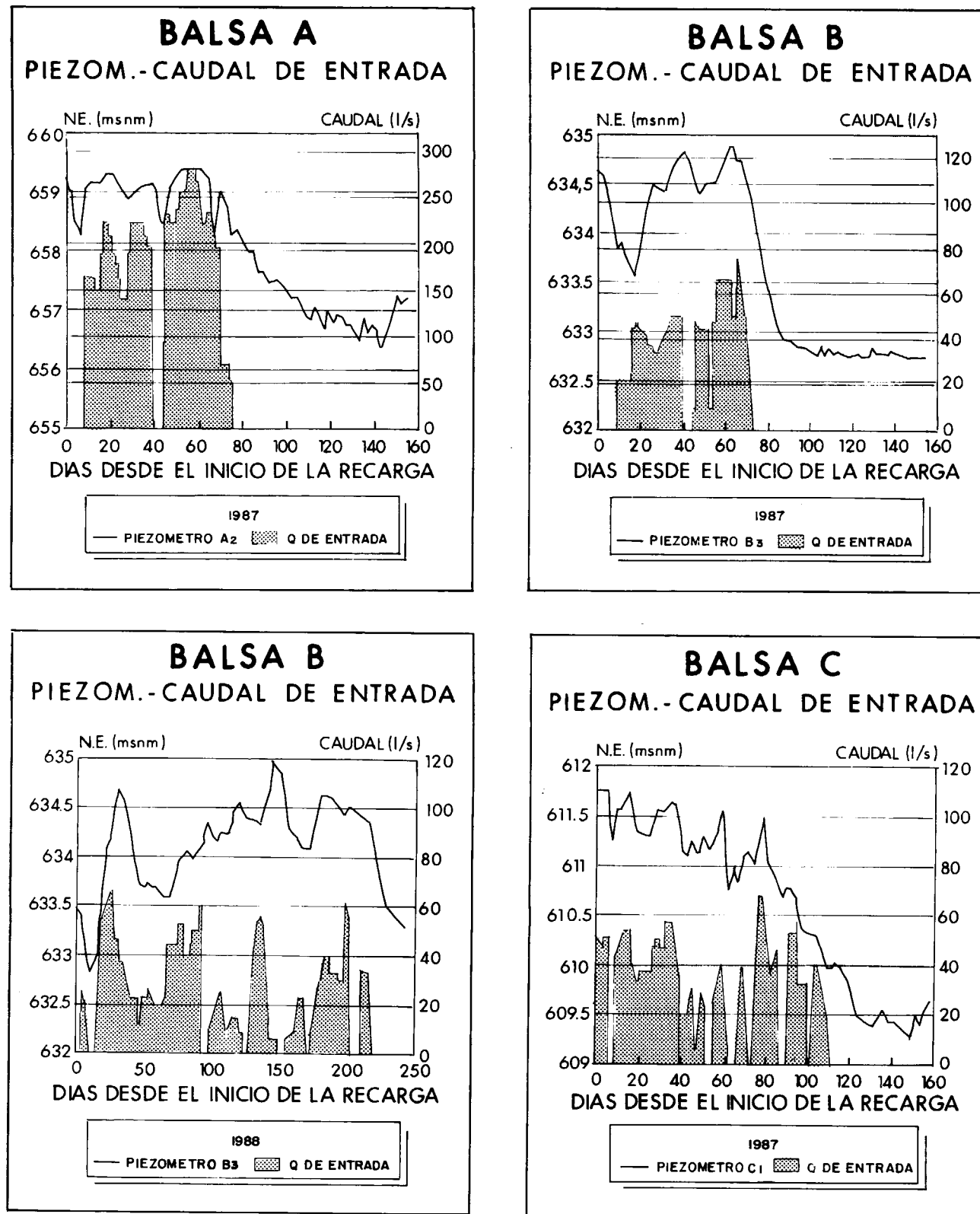


Figura 3.

cido espesor y pequeña extensión superficial de afloramientos permeables) el principal objetivo que se puede perseguir con la técnica de la recarga artificial de acuíferos es el de mejorar la calidad del agua subterránea; ya que al ser el acuífero excesivamente transmisor, y con un flujo natural elevado, el agua introducida se extiende deprisa, y se aleja a gran velocidad, no lográndose almacenar la misma en el acuífero, durante un tiempo suficientemente largo, para poder disponer de ella justamente en el momento en que se necesita (el período de recarga suele coincidir con los meses de invierno, mientras que las necesidades agrícolas se centran en los meses de verano).

El proceso que se produce, cuando se utiliza la recarga artificial como un método avanzado de tratamiento, prevención y corrección de la contaminación, se puede sintetizar en líneas generales, en base al esquema siguiente: El aporte adicional del agua de recarga produce un aumento del flujo en el acuífero y, consecuentemente, una reducción del tiempo de residencia del agua. Asimismo, la normalmente excelente calidad del agua de recarga, al mezclarse con el agua del acuífero, da lugar a una disminución en la concentración de la mayoría de los componentes no deseados. Por otro lado, la inyección o infiltración del agua de recarga puede provocar un umbral en la superficie piezométrica original que detenga el flujo contaminado, o bien cree un camino preferencial que conduzca esas aguas hacia un determinado punto de drenaje.

La experiencia piloto realizada en el acuífero aluvial del río Oja confirmó que el mismo no presenta un hidrodinamismo adecuado para intentar aplicar la técnica de recarga artificial de acuíferos con un criterio esencialmente de almacenamiento. Por consiguiente, se pensó que, quizás, las instalaciones construidas podían aprovecharse en la mejora de algunos aspectos relacionados con la calidad del agua del acuífero, así como en la corrección de los efectos provocados por algunos focos de contaminación, más o menos puntuales, debidos a prácticas agrícolas.

Los ensayos efectuados a este respecto pusieron de manifiesto una notable mejoría en la calidad del agua subterránea (LOPEZ GETA y MURILLO, 1993). Por consiguiente, y a pesar del corto espacio de tiempo dedicado al control de la evolución de la calidad (aproximadamente un mes),

se puede afirmar con un alto grado de fiabilidad que, en acuíferos con unas características hidrogeológicas como las del aluvial del río Oja, se pueden aprovechar parte de los excedentes invernales de agua superficial, siempre que éstos reúnan unos ciertos requisitos de calidad, en la mejora de las características hidroquímicas del agua del acuífero. Especialmente, si se tiene presente, que el orden de magnitud de la inversión económica que fue preciso realizar para construir las instalaciones de recarga fue de 8 millones de pesetas de 1987.

#### EL AGUA DE RECARGA EN ORIGEN. CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD Y SU VARIABILIDAD

Para el estudio de la calidad química del agua de recarga en origen se tuvieron en cuenta una serie de análisis realizados por el ITGE en 1985 y 1986 durante el proyecto titulado *Estudio hidrogeológico del Cuaternario del río Glera u Oja*, así como los de otra campaña (1987) efectuada especialmente para este proyecto de recarga artificial.

En los análisis se determinaron cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, nitratos, sodio, magnesio, calcio, potasio, nitritos, litio, amoníaco, conductividad y pH. De la evaluación de los mismos se dedujo que se trataba de aguas bicarbonatadas cálcicas con una mineralización ligera, que en ocasiones era incluso muy débil (conductividades inferiores a 500 micromhos/cm), y que sus características químicas presentaban estabilidad en el tiempo. Asimismo, se trataba de aguas que según las normas Riverside correspondían a la categoría C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, lo que significaba que eran de baja salinidad, bajo S.A.R. y utilizables para riego en todos los suelos y en cualquier cultivo, no encerrando peligro de salinización ni de elevación del nivel de sodio intercambiable.

Por otro lado, y dado que en todo proyecto de recarga artificial uno de los mayores problemas con el que se enfrenta la misma es el de la colmatación, entendiéndose por tal el proceso de acumulación de materiales en las proximidades de la superficie de entrada del agua, se realizaron diversas determinaciones de la cantidad de sólidos en suspensión en el origen de los cana-

les de transporte-recarga y en la entrada a las balsas de recarga. Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 1.

CUADRO 1

LOCALIZACION PUNTO DE CONTROL	SOLIDOS EN SUSPENSION (mg/l)			
	19-7-88	27-7-88	7-7-89	14-7-89
ORIGEN DEL CANAL DE LA PISCINA	< 10	< 10	< 10	< 10
ORIGEN DEL CANAL DE LA RESACA	< 10	< 10	< 10	< 10
ENTRADA A LA Balsa "A"	< 10	< 10	< 10	
CANAL DE SANTURDEJO "ESCALA E3"	80	< 10	< 10	80
ENTRADA A LA Balsa "B"	80	< 10	< 10	

En el mismo se observa que, mayoritariamente, la cantidad de sólidos en suspensión es inferior a 10 mg/l, como en cierta medida era lógico esperar, al tratarse, con excepción del arroyo Santurdejo, de aguas de origen subterráneo. Las aguas de recarga provenientes de dicho arroyo fueron las únicas en las que se detectaron variaciones. La más significativa fue la registrada entre el 19-7-88 y 27-7-88; el día 19 corresponde al inmediatamente posterior a una fuerte tormenta (78 mm en pocas horas).

#### REDUCCION DE LA CAPACIDAD DE RECARGA POR ADICION DE MATERIA EN SUSPENSION

Por lo que respecta a esta forma de colmatación, que con frecuencia es considerada el factor dominante dentro de los diferentes procesos que influyen sobre la reducción progresiva de la capacidad de recarga, se realizó una estimación de la cantidad de materiales depositados por el agua de recarga en las balsas A y C (cuadro 2), en función del volumen mensual de agua que entró en las mismas, y de la cantidad de sólidos en suspensión que aporta el agua de recarga. Estos se estimaron en un valor medio de 10 mg/l.

El espesor de sedimentos acumulados sobre el fondo de las balsas (cuadro 3) se calculó en función de la consideración que se expone a continuación (CUSTODIO, 1986), en la que se admite, que las costras de arcilla, una vez secas, pueden tener altas densidades aparentes (hasta 2,33 g/cm<sup>3</sup>) por colocarse las partículas planas de forma paralela unas a otras y a máxima compactación.

CUADRO 2

MES	CANTIDAD DE MATERIALES (Tn) DEPOSITADOS POR EL AGUA DE RECARGA EN LAS BALSAS			
	Balsa A		Balsa C	
	1987	1988	1987	1988
ENERO		4,3		0,6
FEBRERO		4,4	0,1	0,7
MARZO	4,4	5,0	1,1	0,4
ABRIL	5,2	3,6	0,6	0,1
MAYO	1,3	3,1	0,8	0,3
JUNIO		1,4	0,4	0,1
JULIO		0,8		0,05
AGOSTO				
TOTAL	10,9	22,6	3,0	2,25

CUADRO 3

AÑO	ESPESOR DE SEDIMENTOS DEPOSITADOS (cm)			
	Balsa A		Balsa C	
	SOBRE TODA LA SUPERFICIE	SOLO SOBRE LA Balsa DE SEDIMENTACION	SOBRE TODA LA SUPERFICIE	SOLO SOBRE LA Balsa DE SEDIMENTACION
1987	0,23	2,30	0,07	0,19
1988	0,49	4,84	0,05	0,14
TOTAL ACUMULADO	0,72	7,14	0,12	0,33

Estos resultados parecen guardar una cierta congruencia con los obtenidos a partir de una serie de pequeños sondeos realizados con taladro manual y tomamuestras, en la balsa de sedimentación de la instalación denominada A, durante el año 1990 (cuarto año de funcionamiento de los dispositivos).

En dichos ensayos se pudo estimar que el espesor de sedimentos era del orden de 15 a 20 cm en la mayor parte de la instalación de decantación; si bien, en la zona más alejada de la entrada del agua a la balsa el espesor de éstos disminuía (5 cm), y en la más cercana aumentaba (30 cm). En el resto de la balsa, que constituye propiamente el dispositivo de infiltración, y cuyo fondo tiene forma de surcos, se pudo constatar que los sedimentos se acumulaban preferentemente en el fondo de los mismos, si bien su espesor era muy reducido. No observándose, a simple vista, en los laterales y en las crestas efectos de sedimentación.

#### EVOLUCION DE LA TASA DE INFILTRACION

En los dispositivos de recarga, existentes en el

acuífero cuaternario del río Oja, el cálculo de la tasa de infiltración, y su evolución con el tiempo, no se evaluaron hasta 1990 en que se instaló en el centro de la balsa A una escala graduada, que permitió, mediante un detallado levantamiento topográfico de la instalación, relacionar la altura de lámina de agua con la capacidad de la balsa, es decir, determinar el volumen residual embalsado. Asimismo, también se colocaron una serie de referencias visuales (barras metálicas de 1 m de altura), a lo largo de los dispositivos de recarga, y equidistantes 5 m entre sí, con el objetivo de poder cuantificar, en forma rápida, desde el borde de la instalación de infiltración, la superficie máxima mojada en el caso de que el área encharcada no llegara a cubrir toda la extensión de la balsa.

Los valores de la tasa de infiltración, en la balsa A, para los años 1987 y 1988, se determinaron, en forma aproximada, en función del caudal de entrada a la balsa y de la superficie encharcada en la misma. Estimándose, que el primer año, el valor de la misma pudo oscilar entre 19 m/día y 12 m/día, y el segundo entre 11 m/día y 5 m/día. Durante la experiencia de 1987, la extensión del fondo de la balsa que se inundó alcanzó la mitad de la superficie de ésta, aunque hacia el final de la experiencia (meses de abril y mayo) llegó a ocupar las dos terceras partes de la misma. En 1988 el agua abarcó toda la superficie de la balsa, si bien únicamente llegó a cubrir con una finísima lámina de agua a la instalación de recarga.

La evolución de la tasa de infiltración, en la mayor parte de las experiencias realizadas, en diversos países, parece ajustarse a una curva de tipo exponencial una vez finalizada la llamada fase hidráulica. En la figura 4 se ha ajustado, para los valores de la tasa de infiltración obtenidos durante 1990, una curva del tipo  $I = Ae^{bt}$ , donde I es la tasa de infiltración (m/día), y t el tiempo acumulado (días) en que se ha realizado recarga a lo largo de las distintas experiencias. En las curvas n.º 2 y n.º 3 se han utilizado respectivamente los valores de 1990 junto con los máximos y mínimos estimados para la tasa de infiltración en la balsa A durante los años 1987 y 1988. Asimismo, también se han representado las curvas anteriormente mencionadas para el intervalo de t comprendido entre 400 y 1.100 días. El objetivo era realizar una extrapolación para cuantificar un orden de magnitud del previ-

sible caudal que se infiltraría en las sucesivas etapas de recarga posteriores a 1990. Cada una de estas etapas se estimó en seis meses. Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 4 no existiendo confirmación de los mismos, ya que el ITGE interrumpió el seguimiento de esta instalación a principios de 1991. Estos caudales teóricos son notablemente inferiores a los máximos registrados en abril de 1987 (445 l/s); evaluándose el caudal medio de entrada, para ese mismo año, en 308 l/s.

CUADRO 4

AÑO	1991	1992	1993
	CAUDAL PREVISIBLE DE INFILTRACION	20-11	11-8
	MAXIMO (l/s)	18-8	8-4
	MINIMO (l/s)		4-2

#### VIDA UTIL DE LA INSTALACION DE RECARGA

CUSTODIO (1986) menciona que cuando se recargan aguas con arcilla en suspensión en terrenos sin macroporos, la mayor parte del material es retenido en los primeros centímetros, y sólo una fracción muy pequeña rebasa la profundidad de 15 cm. En cambio, cuando existen macroporos la penetración es mucho mayor, de hasta 2,7 m, penetrando el 50 por 100 del sedimento hasta 45 cm de profundidad.

En materiales groseros (gravas gruesas), como es el caso del aluvial del río Oja, la penetración de los productos colmatantes, probablemente, se produce según dos etapas. En la primera, la penetración es fácil y profunda, de algunos a varios decímetros, con una acumulación mayor en los primeros centímetros. En la segunda etapa, dominará el efecto de la acumulación de materiales producidos en la primera etapa, que filtrará la nueva materia que va llegando, de modo que esta será rápidamente retenida, y no tenderá a penetrar más allá de algunos centímetros, la eliminación de estos primeros centímetros restablecerá la permeabilidad, pero con ello no se retirarán todos los sólidos en suspensión aportados, pues permanecerán los que penetraron durante la primera etapa, que no se eliminarán con una limpieza superficial.

En consecuencia, para aumentar la permeabilidad, en el dispositivo de recarga, habrá que reprofundizar el mismo entre 0,5 m y 1 m, para así

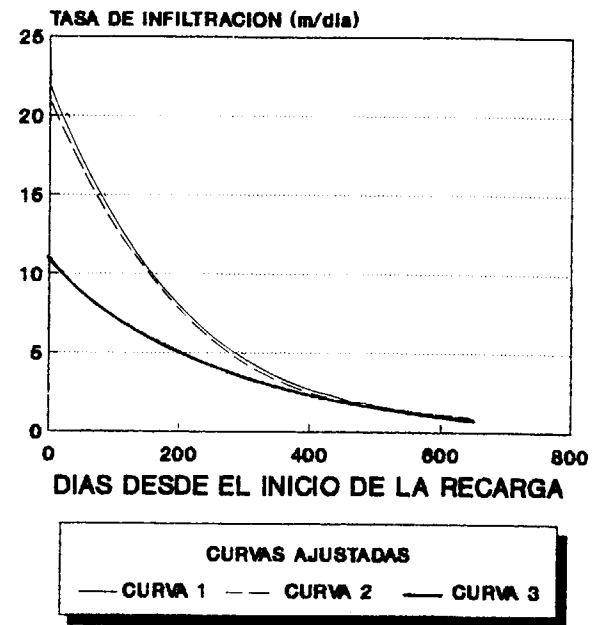
asegurar un alto porcentaje de eliminación. Predecir la duración, en óptimas condiciones de funcionamiento, de una segunda fase de infiltración es prácticamente imposible en base a los ensayos realizados a lo largo de la experiencia. No obstante, con casi toda seguridad, será inferior al determinado para la primera fase (fig. 4), que se puede cuantificar en tres años. Este hecho implica que cada vez serán más frecuentes las labores de descolmatación, y que el fondo de la balsa se situará a una mayor profundidad. En acuíferos con un nivel piezométrico cercano a la superficie, como es el caso del aluvial del río Oja, la vida útil de la instalación de recarga se verá totalmente condicionada por este último factor.

Por consiguiente, en este tipo de acuíferos, resulta fundamental no sólo la utilización de balsas de sedimentación, sino también el empleo de filtros de arena o grava, con un espesor adecuado, que puedan ser retirados de la balsa de infiltración cada cierto tiempo y sustituidos por otros limpios.

Para el caso concreto de la instalación del río Oja se ha estimado que la vida útil del dispositivo de infiltración, no empleando filtros, podría estar comprendida en un orden de magnitud de 9-12 años.

Por último mencionar, muy brevemente, la importancia que tiene en la simulación matemática la disminución con el tiempo, por causa de la colmatación, del caudal infiltrado en la operación de recarga, ya que este hecho afectará tanto al número y tamaño de las instalaciones que es necesario emplear, como a la secuencia temporal en que éstas deben entrar en funcionamiento para lograr unos determinados efectos. Hipótesis formuladas en base a caudales constantes de inyección o de infiltración darán lugar a una sobrevaloración de los resultados que se esperan obtener. En cambio, éstos serán, probablemente, más reales, si la simulación se realiza en base a los datos de campo obtenidos a partir de las experiencias previas realizadas sobre una instalación piloto de recarga artificial. CUSTODIO (1986) presenta una serie de ecuaciones matemáticas, correspondientes a diversos autores, que intentan describir el proceso de colmatación, y que pueden servir, en una primera aproximación, para tantear en los estudios iniciales de viabilidad.

## TASA DE INFILTRACION EVOLUCION



## TASA DE INFILTRACION EVOLUCION PREVISIBLE

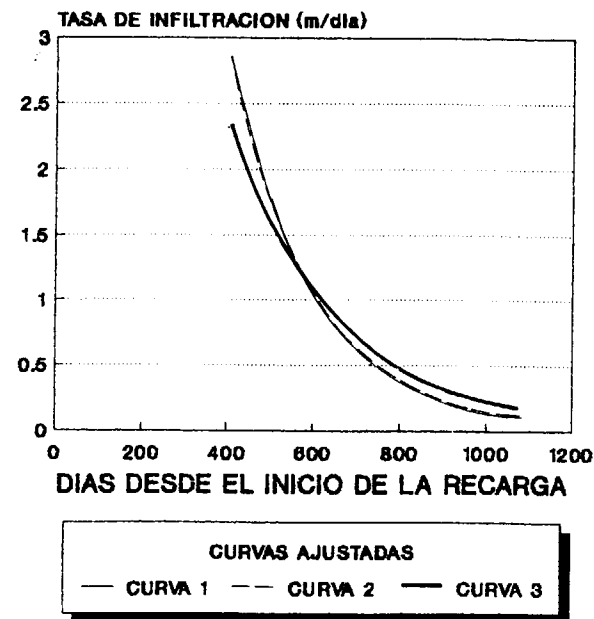


Figura 4.

## BIBLIOGRAFIA

ASANO, T. (1985): *Artificial Recharge of Groundwater*. Butterworth Publishers.

CUSTODIO, E. (1986): *Recarga Artificial de Acuíferos. Avance y realizaciones*. Boletín de Informaciones y Estudios. Núm. 45. MOPT. Servicio Geológico.

HUISNAR, L., y OLSTHOOR, T.: *Artificial Groundwater Recharge*. Pitman Advanced Publishing Program.

ITGE (1991): *Tecnología Básica de la Recarga Artificial de Acuíferos*.

ITGE (1985): *Estudio Hidrogeológico del acuífero cuaternario del río Oja*. Inédito.

ITGE (1987): *Primeras experiencias de recarga artificial en el acuífero del río Oja*. Inédito.

ITGE (1991): *Estudio de los Aspectos Económicos y de Gestión de la recarga artificial del acuífero cuaternario del río Oja*. Inédito.

LOPEZ GETA, J. A., y MURILLO, J. M. (1993): *Recarga Artificial y Reutilización*. Jornadas sobre el agua subterránea. ITGE-Real Academia de Ciencias. Madrid.

MARTINEZ, M., y MURILLO, J. M. (1994): *Efecto de las actividades agrícolas en la calidad química del agua subterránea asociada al acuífero del Baix Tordera. La recarga artificial como Técnica Paliativa*. Congreso Nacional sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas. Alcalá de Henares.

MURILLO, J. M., y DEL POZO, M. (1991): *Artificial Recharge experience at the Rio Oja Quaternary Aquifer*. XXIV IAHR Congress. Madrid.

MURILLO, J. M. (1991): *Recarga Artificial en la Lucha contra la Contaminación*. Industria Minera, núm. 312.

MURILLO, J. M. (1992): *Análisis del Rendimiento de la Instalación de Transporte-Recarga denominada Canal de la Resaca. Acuífero Aluvial del Río Oja*. V Simposio de Hidrogeología. Alicante.

Original recibido: Abril de 1994.

Original aceptado: Septiembre de 1994.



## INGENIERIA GEOAMBIENTAL

# Presente y futuro de las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos.

Por P. RAMIREZ OYANGUREN (\*) y R. LAIN HUERTA (\*)

## RESUMEN

Las clasificaciones geomecánicas, que constituyen los denominados métodos empíricos de diseño de excavaciones en macizos rocosos, comenzaron a desarrollarse en 1946 a partir de la clasificación de Terzaghi. Desde entonces han ido surgiendo nuevas clasificaciones que cada vez han incluido más parámetros, tratándose de evaluar de forma cuantitativa los mismos.

En el presente artículo se mencionan las condiciones que debe cumplir toda clasificación geomecánica. Se expone el estado actual del tema, describiéndose las clasificaciones más usuales en este momento, es decir, el RSR de WICKHAM (1972), el RMR de BIENIAWSKI (1973, 1979) y la Q de BARTON (1974).

Por último, se analiza el futuro de las clasificaciones geomecánicas y se plantean algunas ideas para el desarrollo de nuevas clasificaciones.

*Palabras clave:* Clasificación geomecánica, Túnel, RQD, Macizo rocoso, Método empírico.

## ABSTRACT

Rock mass classifications form the backbone of the empirical design method of excavations in rock masses. The first classification was presented by TERZAGHI in 1946. Afterwards, new classifications were proposed including more and more parameters and a qualitative evaluation of them.

The conditions that must be accomplished by any rock mass classification are mentioned in this paper. The present state of the topic is exposed and the rock mass classifications most often used at present are described, i.e., RSR of WICKHAM (1972), RMR of BIENIAWSKI (1973, 1979) and Q of BARTON (1974).

Finally, the future of rock mass classifications is analyzed and some ideas for the development of new classifications are proposed.

*Key words:* Geomechanical classification, Tunnel, RQD, Rock mass, Empirical method.

## INTRODUCCION

La primera de las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos (C.G.M.R.) fue propuesta por TERZAGHI en 1946 y tenía por objeto facilitar el cálculo del sostenimiento de túneles de ferrocarril mediante arcos metálicos. A continuación, durante cierto tiempo no hubo nuevas aportaciones, hasta que en 1958 LAUFFER propuso una nueva clasificación, también para túneles. Más tarde, en 1968, DEERE creó una clasificación basada en el R.Q.D. (Rock Quality Designation).

Ninguna de estas clasificaciones se utiliza habitualmente hoy en día, aunque el R.Q.D. forma parte de casi todas las que más se emplean en la actualidad.

En la década de los 70 surgen las que se pueden denominar clasificaciones modernas. La primera de ellas fue desarrollada en 1972 por WICKHAM, TIEDEMANN y SKINNER bajo el nombre de R.S.R. (Rock Structure Rating). Después surgió, en 1973, el R.M.R. (Rock Mass Rating) de BIENIAWSKI, y el Sistema Q de BARTON, LIEN y LUNDE, en 1974. Aunque durante esta misma década aparecen otras C.G.M.R. como, por ejemplo:

N.A.T.M., FRANKLIN (1970 y 1975) y LOUIS (1974), han tenido menos seguidores y han desaparecido prácticamente durante la década de los 80. Es importante señalar que todas estas clasificaciones se han desarrollado primordialmente para facilitar la selección del sostenimiento de túneles y excavaciones subterráneas. En este mismo campo, se propuso en 1983 en España una clasificación para predecir la convergencia y diseñar la entibación de las galerías de las minas de carbón (ABAD, CELADA et al.).

Las C.G.M.R. más conocidas se han difundido con rapidez, siendo ya más de 300 artículos los dedicados al tema, el cual se enseña en gran número de universidades de todo el mundo. Recientemente BIENIAWSKI, 1989, ha escrito un compendio general muy interesante sobre estas clasificaciones.

## CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIR, EN GENERAL, LAS CLASIFICACIONES

Aunque las modernas C.G.M.R. son más bien sistemas de clasificaciones, es interesante recordar que el objetivo principal de cualquier clasificación es describir claramente las relaciones existentes entre los ítems que son objeto de ella, facilitando así la comprensión de dichas relaciones; también permiten ordenar los ítems según criterios de calidad. Su utilidad, en el caso de la ingeniería, es tanto mayor cuanto mejor se ajustan a las necesidades planteadas por un problema determinado, no siendo prácticas las C.G.M.R. poco concretas.

Las clasificaciones deben ser:

- Exhaustivas, es decir, deben incluir todos aquellos caracteres que intervienen con cierto peso en el problema de ingeniería al que se refieren.
- Las categorías que se establezcan deben ser mutuamente excluyentes, de modo que en ningún caso puede un macizo rocoso pertenecer a dos categorías distintas.
- Los criterios de clasificación deben ser claros y consistentes, para que no haya ninguna duda a la hora de aplicarlos.

Los anteriores principios sobre los que se basan las clasificaciones se han expuesto, aun a sa-

biendas de la dificultad que supone su puesta en práctica, para que el lector los tenga in mente a la hora de analizar las C.G.M.R. que se presentarán más adelante.

Si un investigador decide proponer una clasificación para ayudar a resolver un determinado problema de ingeniería, debe preguntarse antes si es necesario o siquiera útil realizar una clasificación para ello, pues es evidente que son muchos los casos solucionados sin utilizar las C.G.M.R. A este respecto, no es mera casualidad que todas las clasificaciones importantes se hayan desarrollado para ayudar al diseño de cavidades subterráneas, en especial túneles, sino que se debe al insuficiente desarrollo de los estudios analíticos sobre el tema. Una C.G.M.R. puede desaparecer no sólo porque se desarrolle otra más perfecta sino también porque deje de ser necesaria.

## DISEÑO DE CAVIDADES SUBTERRANEAS

Los macizos rocosos, en los que se insertan las obras subterráneas, constituyen un medio discontinuo complejo cuyas características pueden cambiar bruscamente de un punto a otro. No solamente contienen diferentes tipos de rocas, sino también planos de discontinuidad de diversos orígenes, orientaciones y características que aumentan aún más la complejidad del medio. El comportamiento de los macizos rocosos no se ajusta, en general, a las ecuaciones constitutivas que se emplean para describir otros materiales de uso ingenieril. Además, la rotura de un macizo rocoso puede producirse de varias formas por lo que la determinación de su resistencia presenta no sólo la dificultad que se deriva de la heterogeneidad del medio y del precario conocimiento que se tiene de las características de sus componentes, material rocoso y discontinuidades, sino también de que hay que predecir, en muchos casos, las superficies de rotura más probables.

Al diseñar una excavación subterránea no se pueden elegir los materiales excepto cuando es posible cambiar libremente la ubicación de la obra, lo cual no sucede casi nunca. A veces tampoco se puede ni siquiera decidir libremente la forma de la cavidad, la cual viene fijada por la geología, como ocurre en muchas minas.

(\*) E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.

Tampoco el cálculo de las cargas que actúan sobre una excavación subterránea puede realizarse de la misma forma que en otras estructuras ingenieriles, pues al abrir una cavidad en la corteza terrestre lo que se produce, en realidad, es una alteración de las tensiones que existían en el espacio ocupado por el hueco antes de su apertura.

Pueden distinguirse los tres métodos siguientes para diseñar cavidades subterráneas:

- *Método analítico.* Consistente en la utilización de modelos matemáticos, generalmente de tipo numérico, que permiten conocer el estado tensional existente en el macizo rocoso en el que se inserta la obra y también si se sobrepasa, y en qué zonas, la resistencia del mismo, así como la magnitud de las deformaciones que se producen.
- *Método empírico.* Se basa en experiencias adquiridas en otras obras similares, las cuales se extrapolan a la cavidad objeto de estudio. Es precisamente para aplicar este método para lo que resultan de gran ayuda las C.G.M.R., ya que proporcionan la base para relacionar los problemas de diseño y construcción encontrados con las calidades de los macizos rocosos en los que se insertan las obras.
- *Método observacional.* Este método consiste en realizar medidas y observaciones en la cavidad subterránea de las cuales se deduce si el diseño es acertado o no. Normalmente, se miden los desplazamientos en el perímetro de la cavidad y en el interior del macizo rocoso circundante y las tensiones en el sostenimiento.

En realidad ninguno de estos métodos debe utilizarse con exclusión de los otros, pues un buen diseño requiere el empleo de los tres mencionados.

La debilidad más importante del método analítico reside en que es muy difícil obtener de forma fiable los datos geotécnicos que requieren los modelos numéricos, los cuales al ir elevando su sofisticación necesitan cada vez más información y mayor calidad. Los modernos programas de cálculo demandan frecuentemente datos que no pueden ser proporcionados por los técnicos por insuficiencia de conocimientos sobre las características y propiedades de los macizos rocosos.

En definitiva, los resultados obtenidos por este método están limitados en la actualidad más por la calidad de los datos de entrada de los modelos que por la perfección de éstos.

El método empírico tiene el gran inconveniente de que perpetúa prácticas conservadoras, por lo que es contrario al progreso y a la corrección de errores que, si no son detectados oportunamente, se van repitiendo obra tras obra. Este método es, en general, contrario a la innovación ya que las C.G.M.R., base del mismo, están fundamentadas en casos históricos. Este es un motivo más para que no sea aconsejable utilizar el método empírico sin el auxilio de los otros dos.

El método observacional se sigue empleando todavía en algunas minas como único procedimiento de diseño, pero en las obras subterráneas y en muchas explotaciones mineras, en las que se realiza normalmente un proyecto previo, nunca se usa solo. En realidad este método se utiliza casi siempre como complemento de los anteriormente citados.

El diseño de una estructura subterránea en roca, sea una mina o túnel, requiere normalmente la realización de los siguientes trabajos:

- Elegir la ubicación de la estructura, su orientación, forma y dimensiones. Muchas veces esto no es posible pues los aspectos mencionados vienen fijados por los condicionantes del proyecto.
- Determinar el método de excavación de la cavidad: arranque con explosivos, arranque mecánico, etc.
- Calcular el sostenimiento necesario para su estabilidad.
- Proyectar los equipos de vigilancia que se deben colocar en la misma.

Finalmente, no se debe olvidar que el sentido común o buen juicio ingenieril es imprescindible para que un diseño pueda cumplir su objetivo fundamental, es decir, el beneficio de la sociedad.

#### CONDICIONES QUE DEBEN REUNIR LAS C.G.M.R.

Se denomina macizo rocoso al conjunto de uno

o varios tipos de rocas atravesado por planos de discontinuidad en el que se inserta la obra de ingeniería o la mina. Su caracterización requiere el conocimiento de los siguientes parámetros:

- Resistencia y comportamiento de la roca.
- Familias de discontinuidades existentes.
- Espaciado de los planos de discontinuidad y fracturación del macizo (R.Q.D.).
- Caracteres geomecánicos de las discontinuidades: rugosidad, continuidad, separación y resistencia de los labios, meteorización y relleno.
- Condiciones del agua subterránea.
- Tensiones in situ, naturales o inducidas.
- Alteraciones producidas en el macizo rocoso por las excavaciones.

Una buena clasificación geomecánica aplicada a las cavidades subterráneas debería incluir, además de todos los parámetros anteriores, los principales aspectos de la obra como: método de excavación, tipo de sostenimiento y momento de colocación de éste. Aunque esto no se ha logrado plenamente todavía, las principales C.G.M.R. desarrolladas durante la década de los 70 han producido, no obstante, notables beneficios a la ingeniería. Entre ellos merecen destacarse los siguientes:

- Han mejorado la calidad de los estudios de los macizos rocosos, por el simple hecho de requerir un mínimo de datos para llevar a cabo la clasificación, y han puesto un cierto orden en el caos que reinaba en los trabajos de campo.
- Han permitido dividir los macizos rocosos en grupos de características y comportamiento similar, facilitando el diseño de cavidades subterráneas por el método empírico al permitir relacionar las experiencias obtenidas en diversos lugares.
- Han proporcionado información cuantitativa para ser utilizada en diseños realizados por el método analítico.
- Han proporcionado una base y un lenguaje comunes de comunicación entre geólogos o ingenieros.

#### PRESENTE DE LAS C.G.M.R.

En la actualidad las tres C.G.M.R. más utilizadas son, como se indicó anteriormente: el R.S.R. de WICKHAM, TRIEDEMANN y SKINNER (1972); la Clasificación Geomecánica o R.M.R. de BIENIAWSKI (1973) y el Sistema Q de BARTON, LIEN y LUNDE (1974). Estas clasificaciones fueron creadas originalmente para ayudar a diseñar excavaciones subterráneas, particularmente túneles, aunque algunas de ellas, especialmente la Clasificación Geomecánica de BIENIAWSKI, se han extendido después a otras aplicaciones, como minería subterránea metálica y de carbón (LAUBSCHER, 1977 y 1984; CUMMINGS et al., 1982; KENDORSKI et al., 1983; UNAL, 1983 y 1986, y VENKATESWARLU, 1986), estabilidad de taludes (ROMANA, 1985) y excavaciones (WEAVER, 1957; SMITH, 1986, y SINGH et al., 1986) por ejemplo.

#### Clasificación R.S.R. (Rock Structure Rating)

Esta clasificación, que deriva de la de TERZAGHI, fue resarrollada en Estados Unidos de América con la financiación del Bureau of Mines, y tiene por objetivo primordial proporcionar orientaciones sobre la entibación con arcos metálicos de túneles excavados con explosivos.

Los parámetros del macizo rocoso que intervienen en ella son:

- Parámetro A, se refiere a la estructura del macizo y está basado en el tipo de roca, en su resistencia y en la estructura geológica (pliegues, fallas, ... etc.).
- Parámetro B, relativo a la intensidad de las fracturas y a su orientación con respecto al eje del túnel, en el cual se tienen en cuenta: el espaciado de las juntas, su orientación y la dirección del túnel.
- Parámetro C, que hace referencia al efecto del agua e incluye, además de los parámetros A y B, las condiciones de las juntas y el caudal de agua.

La suma de estos tres parámetros proporciona el valor del R.S.R. del túnel, que puede oscilar entre 0 y 100.

A partir de la información recogida en 53 túneles, el 90 por 100 de los cuales estaban entibados con arcos metálicos, se estableció una correla-

ción entre el R.S.R. y el espaciado con el que deben colocarse las cerchas, que depende también del perfil de acero que se utilice, el cual es función del diámetro del túnel. Este análisis de casos históricos ha permitido obtener gráficos como el de la figura 1, en la que se ha representado, para un túnel de 7,3 m de diámetro, la distancia entre arcos en función de la calidad del macizo rocoso en el que se excava el túnel.

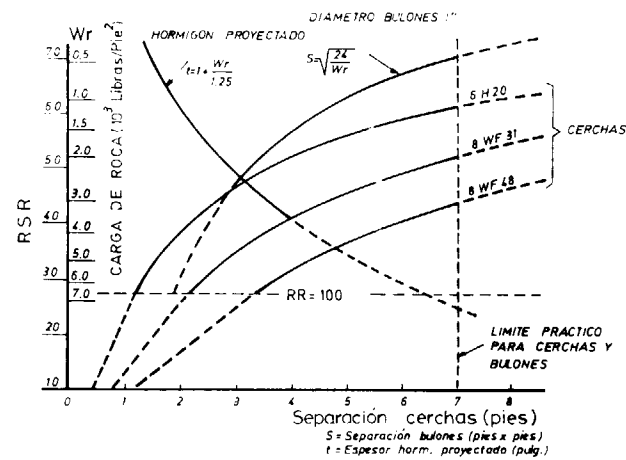


Figura 1.—Clasificación R.S.R. Gráfico para seleccionar el sostenimiento de un túnel de 7,3 m de diámetro (según WICKMAN et al., 1972).

Aunque se ha pretendido emplear esta clasificación para diseñar túneles con entibación de hormigón proyectado y bulones, su utilidad es, a nuestro entender, mucho menor en este caso, ya que entre los túneles analizados para deducir la relación existente entre R.S.R. y el sostenimiento apenas había ninguno realizado con bulones y hormigón proyectado.

### Clasificación Geomecánica (R.M.R.)

Esta clasificación propuesta por BIENIAWSKI en 1973, se fue modificando ligeramente a medida que se experimentaba con ella, siendo la última versión la de 1979. Para determinar el R.M.R. de un macizo rocoso son necesarios los seis parámetros siguientes:

- Resistencia a compresión uniaxial a la roca.
- R.Q.D.

- Espaciado de las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condiciones del agua subterránea.
- Orientación de las discontinuidades con relación al eje del túnel.

Cada uno de estos parámetros se valora independientemente y puesto que no todos tienen la misma importancia en la determinación de la calidad del macizo rocoso, el rango de puntuación varía de unos a otros.

El R.M.R. se calcula sumando los valores atribuidos a los cinco primeros parámetros y ajustando la magnitud así obtenida mediante el sexto parámetro, orientación de las discontinuidades. El R.M.R. no puede exceder de 100, correspondiendo esta magnitud a la máxima calidad.

En la figura 2 se presenta un ejemplo del significado práctico del R.M.R.; en ella se muestran los tiempos de estabilidad correspondientes a diferentes vanos y la máxima anchura que no requiere sostenimiento en función de la calidad del macizo rocoso.

La Clasificación Geomecánica proporciona, en forma de tabla, una orientación para seleccionar el sostenimiento de un túnel, si bien, como se indicó anteriormente, ha sido utilizada también

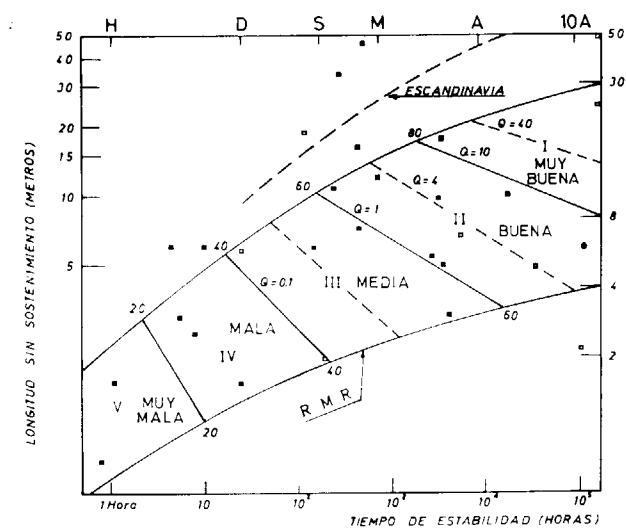


Figura 2.—Clasificación Geomecánica. Tiempo de estabilidad versus longitud sin sostenimiento en un túnel (según BIENIAWSKI, 1979).

con otros fines. Dicha tabla se confeccionó inicialmente a partir del estudio de 49 túneles.

### El Sistema Q

Esta C.G.M.R. fue desarrollada en 1974 por BARTON, LIEN y LUNDE del Instituto Geotécnico Noruego y está basada en los seis parámetros siguientes:

- R.Q.D.
- Número de familias de juntas,  $J_n$ .
- Rugosidad de la discontinuidad más desfavorable,  $J_r$ .
- Grado de alteración y relleno de la junta más débil,  $J_a$ .
- Flujo de agua,  $J_w$ .
- Estado tensional, SRF.

Estos seis parámetros se agrupan de la siguiente forma para estimar la calidad del macizo rocoso por el Sistema Q:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

El valor de Q varía desde 0,001, para los macizos peores, hasta  $Q = 1.000$  para los de mejor calidad.

A partir de observaciones realizadas en 212 túneles de los países escandinavos, los autores establecieron una relación entre la calidad Q y el sostenimiento necesario, dependiendo éste también de la dimensión equivalente,  $D_e$ , de la excavación. Este parámetro se define de la siguiente forma:

$$D_e = \frac{\text{anchura o altura (m)}}{E.S.R.}$$

El E.S.R. está relacionado con el uso que se pretende dar a la excavación y con el grado de seguridad que se requiere.

De acuerdo con los valores de  $D_e$  y de Q, se distinguen 38 categorías de sostenimiento, según puede verse en la figura 3.

### FUTURO DE LAS C.G.M.R.

Como se ha expuesto anteriormente, las tres clasificaciones más utilizadas actualmente fueron creadas para ayudar a la selección del sostenimiento de túneles y cavidades subterráneas. No es de extrañar que esta haya sido la principal aplicación de las C.G.M.R. modernas, pues el diseño de túneles por el método analítico no ha alcanzado todavía el grado de desarrollo necesario para resolver algunos de los problemas que plantean este tipo de estructuras subterráneas. La extensión de estas clasificaciones a otros usos debería ir acompañada de bases de datos históricos, ya que en origen todas ellas se fundamentan únicamente en observaciones efectuadas en cavidades subterráneas, como se ha expuesto. Mientras no se disponga de estas bases experimentales no es prudente utilizar las C.G.M.R. en contextos diferentes de aquellos para los que fueron creadas.

La utilización que actualmente se hace de las clasificaciones en el diseño de túneles es muy grande y es de esperar que esta situación continúe durante algún tiempo. De cara al futuro sería conveniente, en nuestra opinión, que se hiciera un esfuerzo de unificación y se propusiera una sola clasificación que recogiera las ventajas de las existentes y evitara algunos de sus defectos. Nuestra propuesta es que se redacte una norma para la clasificación de los macizos rocosos para la selección del sostenimiento en túneles y cavidades subterráneas.

También sería conveniente realizar una labor similar en otros campos de difícil tratamiento analítico, por ejemplo, el de la excavación o arranque de macizos rocosos por medios mecánicos como *riper*, draga, cuchara o cangilón, máquina de ataque puntual o minador continuo, ... etc. Aunque hay ya algunas clasificaciones dedicadas a estos temas, consistentes, en general, en extensiones del R.M.R. o del Sistema Q, sería conveniente desarrollar una clasificación específica para cada caso.

Otro campo en el que han comenzado a ser utilizadas las C.G.M.R., pero en el que hay todavía mucho trabajo por hacer, es el de la estimación de la resistencia y comportamiento mecánico de los macizos rocosos. La obtención de esta información a partir de los resultados de ensayos realizados en el laboratorio sobre probetas de roca

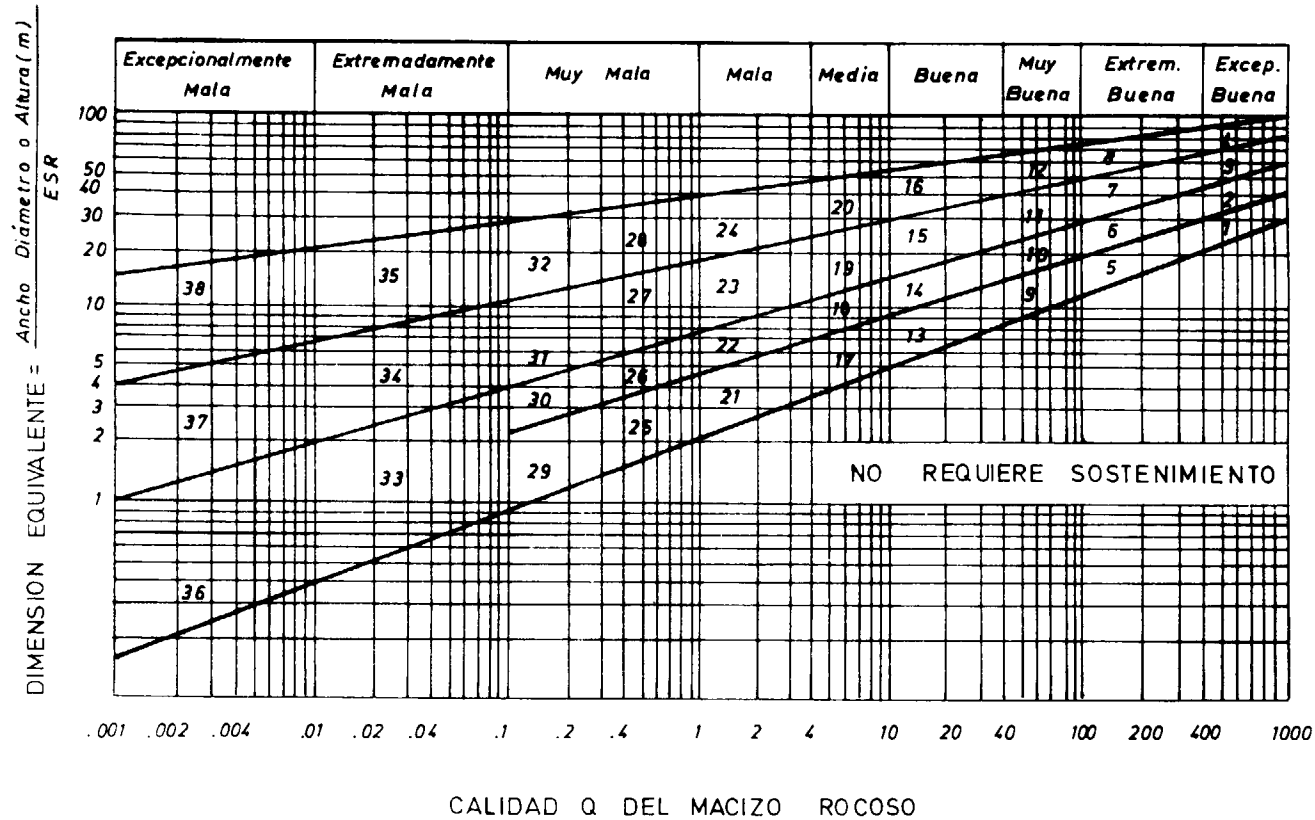


Figura 3.—Sistema Q. Dimensión equivalente versus calidad del macizo rocoso (según BARTON et al., 1974).

o sobre discontinuidades de reducidas dimensiones, es uno de los principales problemas que tiene planteados la Mecánica de Rocas. El método analítico no está todavía suficientemente desarrollado para realizar esta estimación por lo que hace falta una ayuda de las clasificaciones en este terreno, como continuación del trabajo realizado por BROWN y HOEK (1988).

En resumen, se propone unificar las clasificaciones existentes para seleccionar el sostenimiento de cavidades subterráneas y desarrollar otras nuevas referentes a la excavación o arranque de macizos rocosos por medios mecánicos. También sería aconsejable continuar las investigaciones sobre las aplicaciones de las C.G.M.R. en la determinación de los criterios de rotura y ecuaciones constitutivas de los macizos rocosos.

#### REFERENCIAS

TERZAGHI, K. (1946): *Rock Defects and Loads on tunnel Support*. Rock Tunneling with Steel Supports, ed. R. V.

Proctor and T. White, Commercial Shearing Co., pp. 15-99, Youngstown, OH.

LAUFFER, H. (1958): *Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau*. Geol. Bauwesen 74, pp. 46-51.

DEERE, D. U. (1968): *Geological Considerations*. Rock Mechanics in Engineering Practice, ed. R. G. Stagg and D. C. Zienkiewicz, Wiley, pp. 1-20, New York.

FRANKLIN, F. A. (1979): *Observations and Tests for Engineering Description and Mapping of Rocks*. Proc. 2nd Int. Cong. Rock Mech., ISRM, vol. 1, paper 1-3, Belgrade.

WICKHAM, G. E.; TIEDEMANN, H. R., y SKINNER, E. H. (1972): *Support Determination Based on Geologic Predictions*. Proc. Rapid Excav. Tunneling Conf., AIME, pp. 43-64, New York.

BIENIAWSKI, Z. T. (1973): *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 15, pp. 335-344.

BARTON, N.; LIEN, R., y LUNDE, J. (1974): *Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support*, Rock Mechanics, V. 6, n.º 4, 1974, pp. 189-236.

LOUIS, C. (1974): *Reconnaissance des Massifs Rocheux par Sondages et Classifications Geotechniques des Roches*. Ann. Inst. Tech. n.º 108, pp. 97-122. Paris

FRANCKLIN, J. A. (1975): *Safety and Economy in Tunnelling*. Proc. 10th Can. Rock Mech. Symp., Queens University, pp. 27-53, Kingston.

WEAVER, J. M. (Dec. 1975): *Geological Factors Significant in the Assessment of Rippability*. Civ. Eng. S. Afr. 17, pp. 313-316.

LAUBSCHER, D. H. (1977): *Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses-Mining Applications*. Trans. Instn. Min. Metall., 86, pp. A-1-A-7.

BIENIAWSKI, Z. T. (1979): *The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications*, Proc. 4th Int. Cong. Rock Mech., ISRM, Montreaux, vol. 2, pp. 41-48.

CUMMINGS, R. A.; KENDORSKI, F. S., y BIENIAWSKI, Z. T. (1982): *Calving Rock Mass Classification and Support Estimation*, U.S. Bureau of Mines Contract Repor. J0100103, Engineers International, Inc., 195 pp. Chicago.

ABAD, J. B.; CELADA, B.; CHACON, E.; GUTIERREZ, V., e HIDALGO, E. (1983): *Application of Geomechanical Classification to Predict the Convergence of Coal Mine Galleries and to design their Supports*. Proc. 5th Int. Congr. Rock Mech., ISRM, Vol. 2, pp. E15-E19. Melbourne.

KENDORSKI, F.; CUMMINGS, R.; BIENIAWSKI, Z. T., y SKINNER, E. (1983): *Rock Mass Classification for Block Caving Mine Drift Support*. Proc. 5th Int. Congr. Rock Mech., ISRM, pp. B51-B63. Melbourne.

UNAL, E. (1983): *Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine Roofs*. Ph. D. thesis, Pennsylvania State University, University Park, 355 pp

LAUBSCHER, D. H. (1984): *Design Aspects and Effectiveness of Support Systems in Different Mining Conditions*. Trans Inst. Min. Metall., 93, pp. A70-A81.

ROMANA, M. (1985): *New Ajustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes.*, Proc. Int. Symp. Rock Mech. Excav. Min. Civ. Works, ISRM, pp. 59-68. México City.

SINGH, R. N.; DENBY, B.; EGRATLI, I., y PATHON, A. G. (1986): *Assessment of Ground Rippability in Opencast Mining Operations*. Min. Dpt. Mag. Univ., 77, 21-34. Nottingham 38.

SMITH, H. J. (1986): *Estimating Rippability by Rock Mass Classification*. Proc. 27th U.S. Symp. Rock Mech., AIME, pp. 443-448, New York.

UNAL, E. (1986): *Empirical Approach to Calculate Rock Loads in Coal Mine Roadways*. Proc. 5th Conf. Ground Control Coal Mines, West Virginia University, pp. 234-241, Morgantown.

VENKATESWARLU, V. (1986): *Geomechanics Classification of Coal Measure Rocks vis-à-vis Roof Supports*, Ph. D. thesis, Indian School of Mines, pp. 251, Dhanbad.

BROWN, E. T., y HOEK, E. (1988): *Discussion on Shear Failure Envelope in Rock Masses*. J. Geotech. Eng. ASCE, 114, pp. 371-373.

BIENIAWSKI, Z. T. (1989): *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York.

Original recibido: Septiembre de 1994.

Original aceptado: Octubre de 1994.



## ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES

# Las canteras de calizas de los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: Valoración de recursos.

Por M. A. GARCIA DEL CURA(\*), S. ORDOÑEZ (\*\*), E. DAPENA (\*\*\*)  
y J. A. GONZALEZ MARTIN (\*\*\*\*)

## RESUMEN

Un conjunto de calizas situadas en los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid, explotadas más intensamente en las últimas décadas, son estudiadas como recurso geológico. Estas calizas pertenecen básicamente a la Unidad Superior del relleno neógeno de la Cuenca de Madrid y en menor proporción a la Unidad Terminal. Se analizan sus características para diferentes usos estableciéndose unas posibles reservas de mil millones de toneladas, que podríamos considerar prácticamente ilimitadas a efectos de la producción de cemento.

Las propiedades químicas y mecánicas de estas calizas, así como la presencia de algunas fábricas tobáceas de notable belleza sugieren una explotación racional escalonada de las calizas como: rocas ornamentales, áridos de machaqueo, calles, cargas, etc. Se aconseja una centralización de todas las explotaciones existentes en dos o tres cortas diseñadas correctamente en cuanto a la minimización del impacto ambiental.

*Palabras clave:* Rocas industriales, Calizas, Neógeno, Cuenca de Madrid.

## ABSTRACT

Lacustrine-fluvial limestones (Jarama-Tajuña-Tajo interstreams), Upper and Terminal Units of Neogenous Madrid basin has been mined recently for crushed stones, cement and lime raw materials.

Inferred reserves from more than thirty stratigraphical sections rise up to 1 billion tonnes of highest chemical purity that may envisaged as unlimited for the present day demand of cement raw materials.

The chemical and mechanical properties and some times the nice tuffaceous fabric suggest a rational and staged recovery of limestone as dimension stone, crushed stones, lime, raw materials, fullers and cement raw materials.

Geological and environmental considerations let us point out the opportunity of concentrate the numerous and scattered present open pits in a few biggest mines, with a staged recovery of limestone resources.

*Key words:* Industrial rocks, limestone, Neogene, Madrid basin.

## I. INTRODUCCION

Este estudio tiene por objeto la valoración como recurso minero de un tipo de roca industrial *las calizas* en una zona concreta, desde el punto de vista geográfico y litoestratigráfico, de la Cuenca de Madrid, en la que existen en los últimos años varias canteras activas (ITGE, 1988), cuyo número se ha visto incrementado recientemente. En esta zona se sitúan las canteras de la denomi-

nada *Caliza o Piedra de Colmenar*, que tuvieron gran importancia en el pasado (HERNANDEZ PACHECO, E., y HERNANDEZ PACHECO, F., 1926; HERNANDEZ PACHECO, F., 1945; DAPENA y otros, 1989, y GARCIA DE MIGUEL y otros, 1992) y cuyo valor como elemento de reparación de muchos monumentos de Madrid es enorme. Para la realización de este trabajo se ha precisado de un estudio inicial de la base física cuyos resultados van a constituir la primera parte del presente artículo.

## II. ESTUDIO DE LA BASE FISICA

## a) Geología

Los materiales explotados (fig. 1) pertenecen básicamente a la *Unidad Superior* del relleno neógeno de la Cuenca de Madrid (MEGIAS y otros, 1983; CALVO y otros, 1989), si bien algunos de ellos se sitúan por encima de dicha Unidad (ORDOÑEZ y otros, 1986, y GARCIA DEL CURA y otros, 1991). La Unidad Superior está separada de la Unidad Intermedia infrayacente por una ruptura sedimentaria debida, según se deduce del carácter fluvial y la distribución de los sedimentos de la Unidad Superior, a una destrucción de las condiciones generales de endorreísmo, consecuencia de procesos tectónicos-erosivos.

En la zona, la litología de la Unidad Superior, está constituida por materiales detríticos finos de colores ocres, que intercalan depósitos canalizados de arenas y conglomerados sueltos: *Serie detrítica de la Unidad Superior*. Estos materiales pasan de modo insensible hacia la parte superior a calizas masivas, más o menos biogénicas (travertínicas), dispuestas en bancos métricos con estratificación ondulada y desarrollo de suaves pliegues decamétricos, con predominio de carbonatos de facies fluviales con facies similares a las descritas por ORDOÑEZ y GARCIA DEL CURA, 1983, incluso las micritas y calizas de charáceas presentes pueden pertenecer al medio fluvial, recordemos al respecto los sedimentos de este tipo actuales y paraactuales existentes en las Tablas de Daimiel. Estas calizas han sido tradicionalmente denominadas *Calizas de los Páramos*, terminología poco rigurosa, según veremos cuando analicemos el significado del *Páramo* en el apartado de geomorfología, de ahí que utilizemos, por considerarla más precisa, la deno-

minación de *Serie carbonática de la Unidad Superior*.

Uno de los lugares donde mejor puede observarse esta *Unidad Superior* es en los alrededores de Campo Real (ORDOÑEZ y GARCIA DEL CURA, 1986). En dicho término, al sur del pueblo y desde la cota de éste a cotas superiores, pueden observarse depósitos tipo barra arenosa de espesor decimétrico, desarrollados sobre depósitos de llanura de inundación en los que se observan rasgos de edafización, la fracción arcillosa de estos sedimentos detríticos es fundamentalmente ilítica, con proporciones variables, que pueden llegar a ser altas, de caolinita; por su composición mineralógica los materiales arenosos pueden definirse como subarcosos. Sobre estos depósitos detríticos aparecen calizas tobáceas, algunas de las cuales muestran facies de tallos verticales, siendo más frecuentes las tobas de tallos cruzados (fundamentalmente tobas de charáceas), ambas presentan texturas estromatolíticas. Dichas tobas alternan en secuencias con tobas detríticas (calcarenitas tobáceas), localmente aparecen secuencias decimétricas de materiales carbonáticos ricos en materia orgánica-limos calcáreos, que pasan hacia la parte superior a calizas oscuras. También localmente se observan niveles estromatolíticos. Los términos superiores de esta serie presentan abundancia de calizas algáceas con facies oncolíticas y estromatolíticas muy cementadas de gran valor ornamental.

A techo de las calizas de la Unidad Superior y penetrando en ellas de modo irregular, aparece un sistema cárstico de tipo poligénico, con desarrollo de formas de reconstrucción y relleno predominantes de materiales de tipo *terra rossa* y diferentes tipos de perfiles según su situación geomorfológica (SANZ y otros, 1994). La distribución y espesor de estos materiales karstificados condiciona el volumen de material no canterable.

Hacia el sur de la zona estudiada en este trabajo se observan perfiles maduros de calcretas sobreimpuestos sobre las calizas de la Unidad Superior (CALVO y otros, 1986; SANZ y otros, 1989 y 1991). Idéntico carácter edáfico tiene la *Costra Laminar Multiacintada* descrita por PEREZ GONZALEZ (1982) en la Mesa de Ocaña y por VAUDOUR (1979) al S de Alcalá de Henares (croûte feuilletée et rubanée del Cerro Garabilla, páramo

(\*) Instituto de Geología Económica (C.S.I.C.). Laboratorio de Petrología Aplicada. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Apdo. 99. 03080 Alicante.

(\*\*) Laboratorio de Petrología Aplicada. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Apdo. 99. 03080 Alicante.

(\*\*\*) C.E.D.E.X C/. Alfonso XII, 3. 28014 Madrid.

(\*\*\*\*) Departamento de Geografía. U.A.M. Cantoblanco. 28049 Madrid.

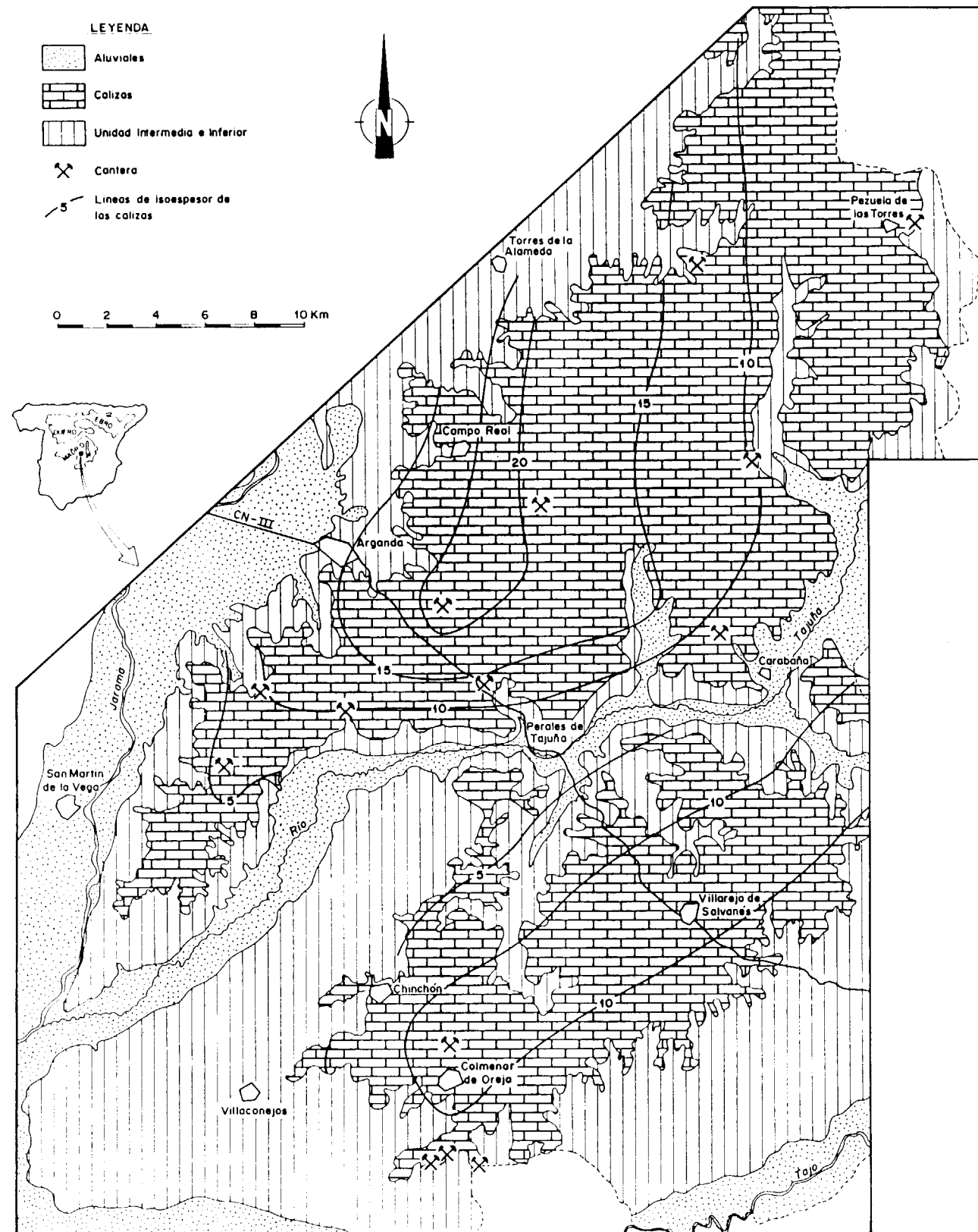


Figura 1.—Mapa de situación y encuadre geológico de las canteras estudiadas.

Las muestras estudiadas se sitúan en las siguientes coordenadas: Morata: 40° 15' N - 3° 29' O. Hoyón: 40° 15' N - 3° 22' O. Campo Real: 40° 21' N - 3° 20' O.

central o *Alcarria madrileña*). Esta costra corresponde a una etapa posterior del relleno de la Cuenca o *Unidad Terminal* (¿Plioceno?).

El hecho de que la *Costra Laminar Multiacintada* esté asociada en algunos puntos a unas facies detríticas de lutitas y arenas con canales, donde localmente aparece otro conjunto de calizas biogénicas fluviales de facies variadas (tobas de musgos, tobas de tallos, calizas oncolíticas...) ha dado lugar, a veces, a cierta confusión sobre la litoestratigrafía de esta zona en particular, ya que los carbonatos fluviales pliocenos están restringidos a la parte SO de la Cuenca. La distribución irregular, asociada a antiguas redes de drenaje, cuya posición experimenta variaciones con el tiempo, de los sedimentos fluviales (detríticos y carbonáticos), contribuye a aumentar dicha confusión, ya que son muy contados los puntos en que, como en Villarrubia de Santiago, puede encontrarse toda la serie. Esta complejidad puede explicarse por el desarrollo de uno o más episodios edáficos sobre diferentes materiales cuya presencia es función de las condiciones geomorfológicas existentes en el momento de su génesis (paleogeomorfología).

### b) Geomorfología

En el área resalta claramente una superficie erosiva poligénica, que afecta a las calizas y a los productos de su carstificación, así como, donde éstas no se hayan expuestas, a los depósitos terrígenos de su base. El ciclo erosivo actual se encaja sobre esta superficie dando lugar a aterrazamientos y hombreras, desarrollados sobre las unidades infrayacentes a la Unidad Superior, y que destacan por su continuidad en el paisaje de los valles actuales de los ríos de la red del Tajo.

El estado actual de los conocimientos hasta 1990 puede resumirse en:

- La topografía culminante del páramo corresponde a una superficie de erosión que arrasa calizas neógenas de distintas edades (Unidad Intermedia, en la provincia de Guadalajara: Brihuega, Ledanca, etc., y Unidad Superior, en los páramos de Madrid).
- Esta superficie de erosión se asocia a una *superficie de degradación* dirigida por la co-

rosión química en el Plioceno Medio o Superior y que originó numerosas formas kársticas e importantes relictos de *terra-rossa*.

- En el Villafranquiense Medio, el páramo de Madrid, hasta entonces cubierto uniformemente por *terra rossa* es basculado hacia el sur. Ello origina el descenso generalizado que se advierte en las capas calizas desde los Santos de la Humosa (900 m) hasta Chinchón y Colmenar de Oreja (760 m); entre estos dos dominios se insinuó el denominado *Sinclinal de Morata*, donde las calizas se sitúan en torno a los 720 m - 700 m. Este basculamiento reactivó la erosión que eliminó la *terra rossa* de los sectores altos y los acumuló en las zonas más deprimidas de aquél (sur de Peralas de Tajuña, Colmenar de Oreja, etc.). Coetáneamente, un clima de cierto talante seco originó un encostramiento brechoide.
- Finalmente, el encajamiento de la red fluvial incide progresivamente en los terrenos neógenos originando los valles actuales.

### III. LAS CALIZAS DE LOS INTERFLUVIOS DE LOS RÍOS JARAMA-TAJUÑA-TAJO COMO RECURSO MINERO

#### a) Volumen del recurso geológico considerado

- El espesor explotable, varía en toda la superficie erosiva del Páramo desde 0 m hasta 20 m, por lo que se puede estimar que las reservas de este tipo de materiales son superiores a 1.000 millones de m<sup>3</sup>.
- La distribución de los espesores es muy irregular, pudiendo asegurarse que los mayores espesores se desarrollan en la parte central de los interfluvios.
- Los recubrimientos de terras rosas y otros materiales no utilizables varían desde prácticamente 0 m, hasta alcanzar potencias de algunos m.

#### b) Propiedades tecnológicas

##### 1. Análisis químico

De los análisis químicos medios realizados por

GARCIA CALLEJA (1991) y GARCIA CALLEJA y otros (1991) de las calizas de la Unidad Superior, se deduce que el contenido en sílice es inferior al 7 por 100, presentando valores medios del orden de 1,5 por 100. El contenido en óxido de calcio es generalmente superior al 49 por 100, alcanzando a veces valores de hasta el 55 por 100. Los bajos coeficientes de variación de este componente, reflejan una gran homogeneidad química de las calizas, lo que le convierte en una materia prima ideal, tanto para la fabricación de clinker, como para otros usos; cales, cargas, etc.

Hay que indicar que los límites anteriormente señalados se refieren al producto ya explotado (todo uno) disponible en los acopios, si bien, como habíamos indicado, estos parámetros pueden fluctuar en el yacimiento entre límites mucho más amplios.

Igualmente, el óxido de hierro III y la alúmina, presentan unos parámetros químicos con valores inferiores respectivamente al 0,75 por 100 y al 2,75 por 100.

El contenido en trióxido de azufre, cloruros y alcalinos, se encuentra muy por debajo de los valores máximos normalmente utilizados (0,7 por 100 SO<sub>3</sub>; 0,1 por 100 Cl<sup>-</sup> y 1 por 100 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O), circunstancia muy favorable para la fabricación del clinker, habida cuenta del peligro que puede entrañar para el cemento portland y otros usos un excesivo contenido en estos componentes.

## 2. Análisis petrográfico

Las calizas de la Unidad Superior del relleno neógeno de la Cuenca de Madrid, en las que básicamente se sitúan la mayoría de las canteras objeto del presente estudio, presentan una gran variedad de facies, como corresponde a medios fluviolacustres, encontrándonos gran diversidad de carbonatos biogénicos (gran variedad de calizas oncolíticas, estromatolíticas y tobáceas) y calizas micríticas más o menos fosilíferas (con gasterópodos, ostrácodos y charáceas), con frecuentes improntas edáficas y kársticas (tal y como se vio anteriormente) (lámina I). Lógicamente en las explotaciones muestreadas están menos representadas las calizas arenosas que en el conjunto de calizas de la zona.

A continuación vamos a incluir un breve resu-

men de la litología de las principales canteras estudiadas:

### *Cantera habilitada para vertedero de residuos inertes de la CAM, Arganda (antes cantera de Dragados)*

Se trata de una antigua explotación de calizas de tonos blanco grisáceos, de gran pureza, en la que los componentes detríticos son escasos o nulos, según los diferentes niveles, básicamente presenta una serie de secuencias tobáceas donde episodios tobáceos de facies de tallos cruzados y subparalelos alternan con episodios tobáceos con textura micrítica, estando también presentes episodios oncolíticos. Presentan por tanto un claro predominio de calizas biogénicas: micritas y micritas fosilíferas con diferentes tipos de morfología algáceas, cabiendo destacar la presencia de algunos niveles de charáceas. También se observan algunos niveles intraclásticos, tanto con intraclastos angulosos como redondeados (gravels) (lámina I,2). Como fósiles presentes hay que citar ostrácodos y en mucho menor porcentaje gasterópodos. Son frecuentes las bioturbaciones y en algunos puntos, especialmente a la microescala, se observan procesos diagenéticos que han dado lugar a morfologías cristalinas de tipo kárstico, poco importantes cuantitativamente, pero muy variadas texturalmente. Algunos de los niveles de esta antigua explotación son potencialmente rocas ornamentales.

En consecuencia, las muestras estudiadas, y debido a la práctica ausencia de terrígenos siliciclásticos, no van a presentar, en principio, ningún tipo de problema para su trituración y machaqueo en las plantas habitualmente utilizadas en la preparación de materias primas para cementos.

No obstante, y debido al carácter a veces micrítico de las muestras, podrían producirse ocasionalmente, problemas de embozamiento en algunas unidades de la planta de machaqueo.

### *La explotación de El Hoyón*

Situada a la altura del Km 32 de la antigua carretera Madrid-Valencia.

Esta explotación se realiza básicamente sobre

calizas biogénicas blanquecinas, con escasos indicios de componentes detríticos, que presentan una notable variedad de facies, en su mayoría relacionadas con algas: facies oncolíticas, facies tobáceas estromatolíticas desarrolladas sobre charáceas, abundancia de velos algáceos y gasterópodos, así como algunos ostrácodos enteros (lámina I, 1 y 3). Todos estos componentes están generalmente asociados a micrita, pudiendo denominarse las rocas explotadas micritas fosilíferas e incluso biomicitas. En algunos niveles se observan rasgos de edafización (tipo gley). Son relativamente frecuentes los cementos politexturales con distribución geopetal y los *bird eyes*, en general la porosidad intrapartícula e interpartícula está cementada total o parcialmente, disminuyendo notablemente la porosidad eficaz de la roca.

### *La cantera de Valderribas el Alto*

En esta cantera se han explotado unas calizas, de tonos rosáceos, con gran variabilidad, tanto en cuanto a texturas, como a mineralogía, ya que el porcentaje de minerales detríticos (cuarzo, feldespatos, micas y minerales de arcilla), así como óxidos de hierro, varía mucho dentro del conjunto de calizas que han sido objeto de explotación. Así pueden observarse desde calizas biogénicas: calizas oncolíticas y estromatolíticas, hasta calizas arenosas con diferentes grados de edafización, e incluso, puntualmente de karsificación.

### *Las Calizas Colmenar de Oreja*

En la zona de Colmenar de Oreja existen explotaciones conocidas de calizas como materiales de construcción ya en el siglo XVIII, no descartándose explotaciones anteriores. En este punto las calizas de la Unidad Superior presentan, junto a un contenido medio en carbonato cálcico superior al 99 por 100, espesores máximos respecto al resto de la Cuenca de Madrid, lo cual ha contribuido a que su explotación fuera especialmente rentable. Esta rentabilidad se ha visto aumentada por las características petrográficas de las facies aquí presentes; baja porosidad eficaz, relativa facilidad para el pulido y notable belleza, debido en gran parte a la presencia de fósiles y de carbonato mesocristalino cementante de la porosidad inter e intrapartícula; carac-

terísticas petrográficas que se reflejan en unas buenas propiedades físicas que las definen como buen material para su utilización en exteriores (ver apartado de propiedades físicas).

Tradicionalmente, en estas calizas se han distinguido una serie de bancos, separados entre sí por niveles no coherentes, y que presentan ligeras diferencias petrográficas. Estos bancos, de techo a muro, son:

- Cabezal, cuya potencia oscila entre 0,5 m y 0,8 m.
- Banquillo, con potencia de 0,2 m a 0,4 m.
- Sobrebanco, con potencia de 0,8 m a 1,0 m.
- Banco Gordo, como su nombre indica el más potente: de 1,2 m a 1,8 m.
- Banco de Levante, de 0,4 a 0,7 m, antiguamente, cuando estas canteras se explotaban mediante minería subterránea, se extraía el mineral de este banco para dejar caer el *Banco Gordo*, de ahí su nombre.
- Lastra: de potencia inferior a 0,3 m.
- Banco Vidrioso: de 0,1 m a 0,8 m de potencia.

Petrográficamente, las calizas que constituyen estos bancos pueden definirse como calizas micríticas más o menos fosilíferas con cantidades variables de esparita que pueden incrementarse hasta llegar a constituir rocas que pueden definirse como bioesparitas, siendo su componente fósil más característico las charáceas, tanto tallos (parte vegetativa) como girogonitos (oogonios) (lámina I, 4, 5 y 6). Los gasterópodos, tanto en forma de moldes, como ejemplares completos, son también relativamente abundantes, especialmente en el techo del Banco Vidrioso y del Sobrebanco, así como en el Banquillo. Encontramos facies de ostrácodos orientados (biomicritas) en el techo del Banco de Levante y del Banco Gordo. Es frecuente que la porosidad intrapartícula (huecos correspondientes a charáceas y helcidos) esté tapizada de cristales de calcita, originando unas microgeodas con morfología orgánica, lo que reduce considerablemente la porosidad eficaz y es una de las características que a simple vista sirve para identificar a las Calizas de Colmenar.

Explotaciones más recientes son las de la planta de áridos de machaqueo de Campo Real y varias explotaciones menores en las proximidades del pueblo de Morata de Tajuña, de las que se



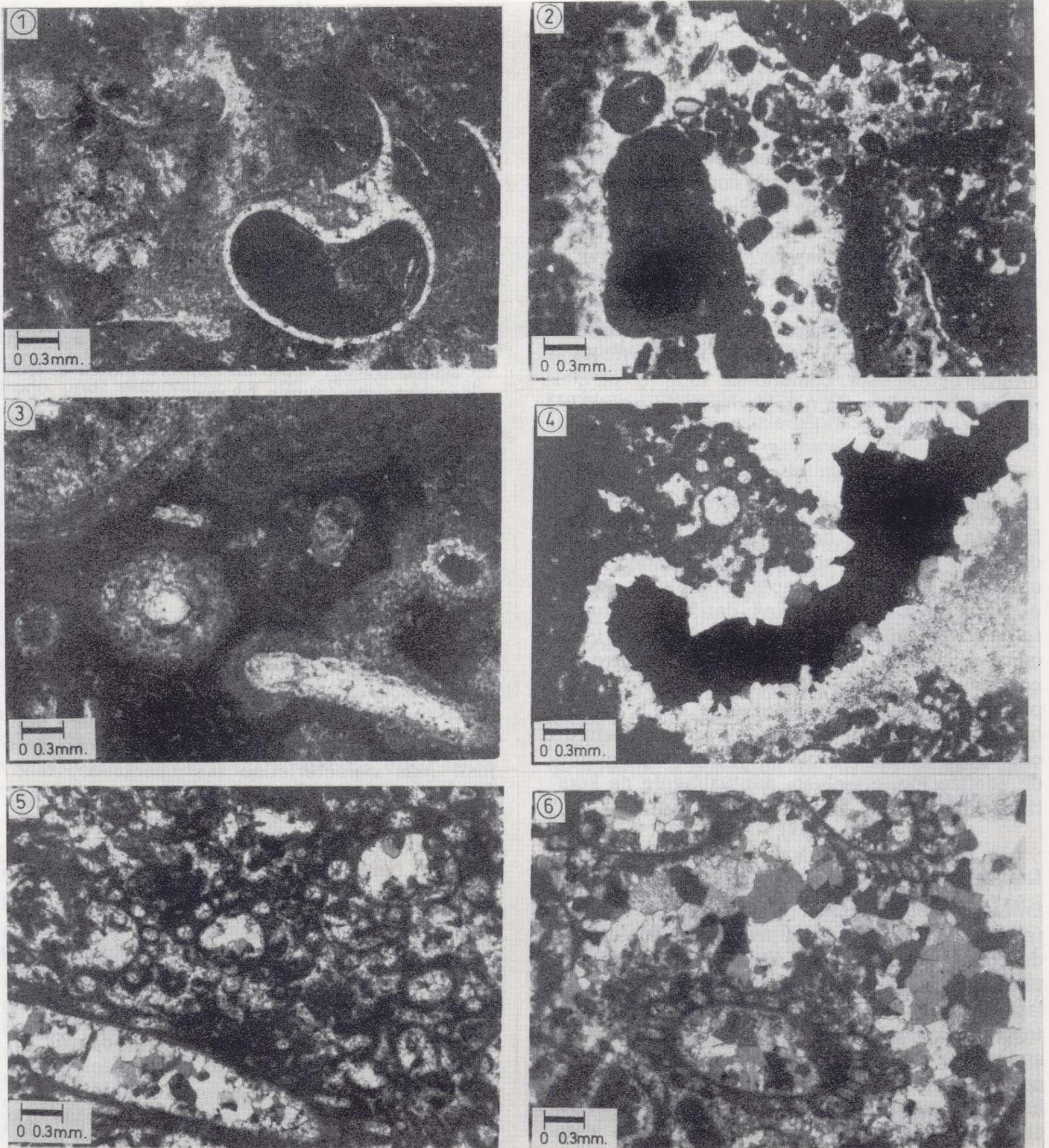


Lámina I.—1) Microfotografía de micrita fosilífera mostrando una sección parcial de gasterópodo. Cantera de El Hoyón. Nícoles cruzados. 2) Microfotografía de intraesparita con algunas microestructuras algáceas. Vertedero de residuos inertes de Arganda (antigua cantera de Dragados). Nícoles paralelos. 3) Microfotografía de biomicrita con estructuras estromatolíticas (toba estromatolítica de charáceas) y fragmentos de ostrácodos. Cantera de El Hoyón. Nícoles paralelos. 4) Microfotografía de geoda con relleno calcítico polifásico en una biomicrita de charáceas. Caliza de Colmenar: Banco de Levante. Nícoles cruzados. 5) Microfotografía de bioesparita con diferentes secciones y fragmentos de *tallos* de charáceas. Caliza de Colmenar: Sobrebanco. Nícoles cruzados. 6) Microfotografía de bioesparita con secciones transversales de *tallos* de charáceas. Caliza de Colmenar: Sobrebanco. Nícoles cruzados.



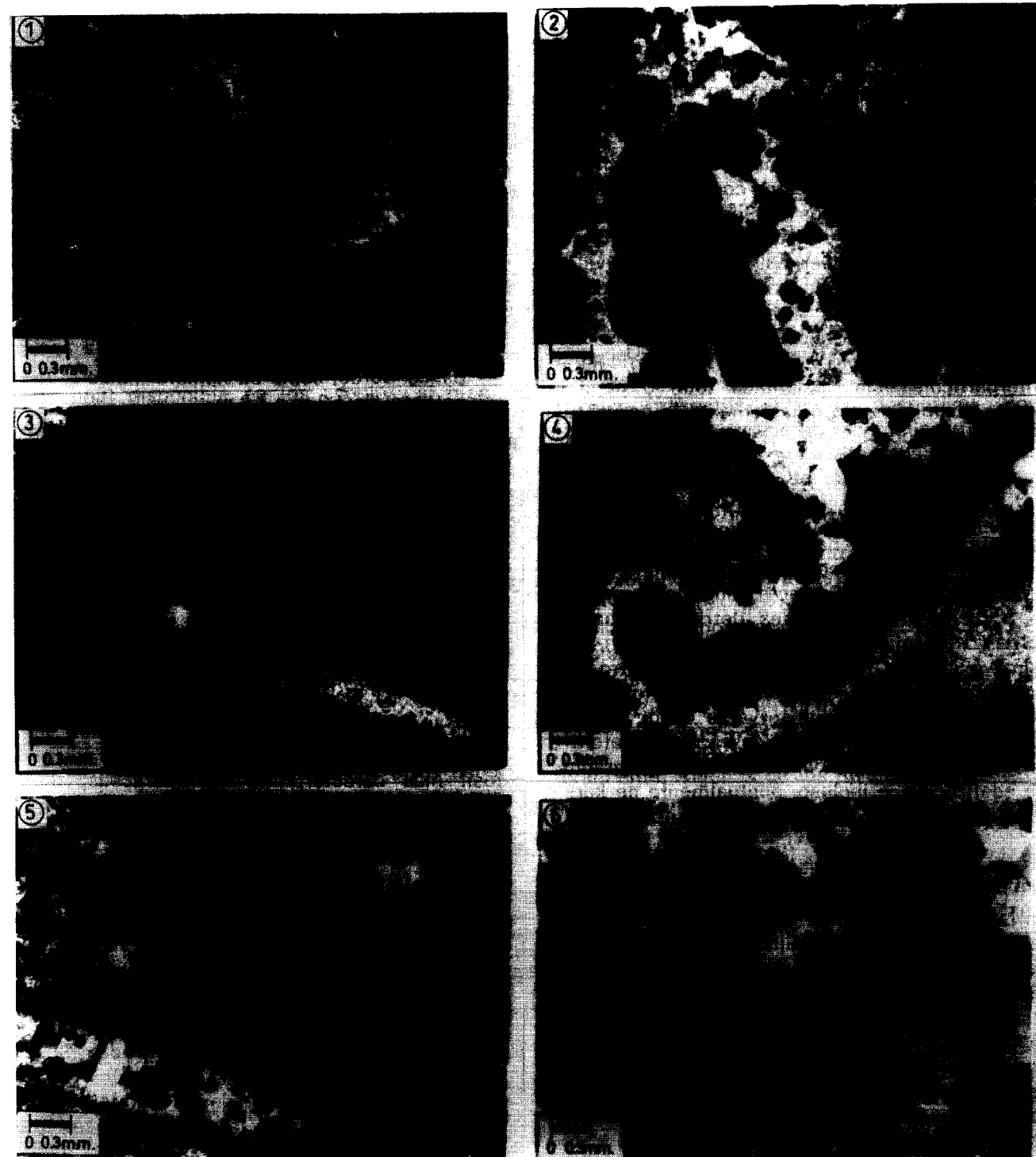


Lámina 1.—1) Microfotografía de micrita fosilífera mostrando una sección parcial de gasterópodo. Cantera de El Hoyón. Nícoles cruzados. 2) Microfotografía de intraesparita con algunas microestructuras algáceas. Vertedero de residuos inertes de Arganda (antigua cantera de Dragados). Nícoles paralelos. 3) Microfotografía de biomicrita con estructuras estromatolíticas (toba estromatolítica de charáceas) y fragmentos de ostrácodos. Cantera de El Hoyón. Nícoles paralelos. 4) Microfotografía de geoda con relleno calcítico polifásico en una biomicrita de charáceas. Caliza de Colmenar: Banco de Levante. Nícoles cruzados. 5) Microfotografía de bioesparita con diferentes secciones y fragmentos de tallos de charáceas. Caliza de Colmenar: Sobrebanco. Nícoles cruzados. 6) Microfotografía de bioesparita con secciones transversales de tallos de charáceas. Caliza de Colmenar: Sobrebanco. Nícoles cruzados.

ha estudiado las propiedades físicas de sus materiales.

### 3. Propiedades físicas

Se realizaron una serie de ensayos sobre *probetas cilíndricas*, con unas dimensiones de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura obtenidas de los bloques recogidos en los frentes de canteras actualmente en explotación, obteniéndose al menos dos probetas de cada bloque. Los ensayos realizados, según las correspondientes normas, fueron los siguientes:

- 1) Ensayos para determinar la absorción, realizados según la norma ASTM C-97-83.
- 2) Ensayos para determinar el peso específico aparente, realizados según la norma ASTM C-97-83.
- 3) Ensayos para determinar la resistencia a compresión simple, realizados según la norma ASTM D-3148.80, con una velocidad de deformación inferior a 1,3 mm/minuto.
- 4) Ensayos para determinar la velocidad de propagación de ultrasonidos, realizados según la norma ASTM D-2845-69 (1976).
- 5) Ensayos para determinar el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson, realizados según la norma D-3148.80.

A continuación se muestran los resultados de los ensayos.

#### Absorción:

Determinada según la norma ASTM C-97-83, permite conocer los huecos accesibles de una roca. Los resultados se recogen en la tabla I. El valor

MUESTRA	P.E.A.	P.E.S.	P.E.R.	A %
HOYON	2,53/.03	2,57/.02	2,65/.01	1,79/.40
HOYON	2,60/.03	2,63/.02	2,68/.01	1,09/.34
MORATA	2,63/.01	2,64/.00	2,67/.00	0,65/.04
MORATA	2,57/.02	2,61/.02	2,67/.01	1,71/.39
MORATA	2,54/.03	2,58/.03	2,64/.04	1,48/.19
MORATA	2,49/.02	2,56/.02	2,68/.01	2,84/.32
CAMPO REAL	2,56/.04	2,60/.03	2,67/.02	1,71/.37
CAMPO REAL	2,51/.09	2,56/.06	2,65/.02	2,22/.99

Tabla I.—Valores medios y desviación estándar del peso específico aparente (P.E.A.); peso específico aparente (s.s.s.), (P.E.S.); peso específico real (P.E.R.), y % de absorción de agua (A %).

medio de la absorción es 1,73 y está comprendido entre 0,62 y 3,73 (en las Calizas de Colmenar el valor medio es 1,1).

#### Peso específico aparente:

Los resultados de los ensayos se recogen en la tabla I. El intervalo de variación de estas densidades se encuentra entre  $\delta = 2,48$  y  $\delta = 2,64$  y su valor medio es  $\delta = 2,54$  gr/cm<sup>3</sup> (en las Calizas de Colmenar dicho valor medio es de 2,55 g/cm<sup>3</sup>, siendo el valor menor el correspondiente a las calizas del *Banco Gordo* que variaba entre 2,38 y 2,46 g/cm<sup>3</sup>).

#### Resistencia a compresión simple y ensayo de carga puntual (Franklin):

Los valores obtenidos en las probetas de calizas ensayadas se recogen en la tabla II. Su valor medio es  $q_u = 89,04$  MPa. En las Calizas de Colmenar este valor oscila entre 58 y 98 MPa.

En la ingeniería práctica la resistencia a rotura es un buen criterio de clasificación de rocas. La resistencia a rotura puede ser determinada mediante el ensayo de compresión simple, como se ha visto, o bien mediante el ensayo de carga puntual. El método de compresión simple, exige una infraestructura, que impide poder usarlo en el campo con facilidad. Sin embargo el ensayo de carga puntual puede ser usado sobre el terreno sobre probetas irregulares además de permitir obtener un número elevado de datos para cada afloramiento o cuerpo a explotar. Por esta razón se pensó que el ensayo de carga puntual podría resultar útil para una definición rápida de la calidad de los materiales, ya que en el caso que nos ocupa las canteras presentan frentes de dimensiones pequeñas y de una gran heterogeneidad aparente.

Entre los datos procedentes del ensayo de carga puntual y la resistencia a compresión simple se estima un factor de conversión de 24, ver BROCH y FRANKLIN (1972). Más recientemente TURK y DEARMAN (1985), han señalado que quizá este ensayo debería tomarse como un test rápido de calidad de rocas. Recientemente GHOST y SRIVASTAVA (1991), señalan la posibilidad de que el ensayo de carga puntual pueda ser usado como un criterio de clasificación ingenieril de rocas.

El método seguido para la determinación fue siguiendo la *Propuesta de nueva Norma NLT: Ensayo para determinar el índice de resistencia puntual*, elaborada por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. Del análisis de la Propuesta de Norma, se desprende que *está pensada para obtener resultados en muestras de campo*, pudiendo ensayarse las probetas saturadas en agua. Por otra parte, aunque se prefieren las probetas de forma cilíndrica, existe la posibilidad de ensayar probetas de formas irregulares, ver el apartado de procedimientos de la Propuesta de Norma, siempre que tengan una dimensión media entre +50/-35 mm, y con una relación D (diámetro)/W(anchura) entre 0,3 y 1, preferiblemente 1. La distancia L (longitud punto de aplicación-extremo más próximo), debe ser por lo menos 0,5 W. A partir de estos datos se puede calcular el valor del *Índice de Resistencia a la Carga Puntual (I<sub>s</sub>)*, definido para el caso que nos ocupa por la ecuación:

$$I_s = \frac{P \cdot \pi}{4W \cdot D}$$

para obtener el índice *I<sub>s</sub> (50)*, *Índice de Resistencia a la Carga Puntual Estadarizado*, se aplica la ecuación:

$$I_s(50) = I_s \cdot \sqrt{\frac{AW \cdot D}{50\pi}}$$

Los resultados del estudio mediante el *test de carga puntual* aparecen reflejados en la tabla II, por orden de menor a mayor, incluyendo para comparación los datos de resistencia a compresión simple.

Una clasificación basada en el ensayo de carga puntual, aplicable a estabilidad de taludes, ha sido desarrollada por SELBY (1980), y permite aplicar los datos del test al diseño de los taludes y bermas de las explotaciones. La clasificación se recoge en la tabla III.

#### Propiedades mecánicas dinámicas:

Las características mecánicas dinámicas: velocidad de propagación de ondas longitudinales y transversales y los coeficientes de Poisson y módulos derivados de ellas se muestran en la tabla IV.

CANTERA.	I (50)	q <sub>c</sub>
MORATA	30,3	*
MORATA	38,5	451,4
HOYON	49,5	*
HOYON	52,3	*
CAMPO REAL	55	*
HOYON	57,8	1000,4
MORATA	57,8	989,
HOYON	60,5	*
MORATA	60,5	*
CAMPO REAL	60,5	*
CAMPO REAL	60,5	*
MORATA	63,3	*
CAMPO REAL	66,0	*
CAMPO REAL	66,0	*
CAMPO REAL	66,0	*
MORATA	71,5	1192,5

Tabla II.

Calidad	I (50) Kg/cm <sup>2</sup>
Muy débil	0,4 - 10.
Débil	10. - 20.
Medio	20. - 40.
Fuerte	40. - 80.
Muy fuerte	> 80.

Tabla III.

La velocidad de propagación de ondas longitudinales varía entre un máximo de  $V_p = 6,531$  m/seg y  $V_p = 5,589$  m/seg. La media de los resultados se sitúa en  $V_p = 6,100$  m/seg. En las Calizas de Colmenar la velocidad de propagación de ondas longitudinales varía entre un máximo de  $V_p = 6,185$  m/seg en el banco *Cabezal* y  $V_p = 4,490$  m/seg en el *Banco Gordo*, situándose la mayoría de los resultados entre  $V_p = 5,216$  m/seg y  $V_p = 5,667$  m/seg.

Los coeficientes de Poisson oscilan entre  $\nu = 0,34$  y  $\nu = 0,38$ . En las Calizas de Colmenar esta oscilación es entre  $\nu = 0,25$  en el *Banco Gordo* y  $\nu = 0,36$  en el *Banquillo*.

El módulo de elasticidad dinámico está entre  $47,989 \text{ MP}_a \leq E \leq 61,413 \text{ MP}_a$ . En cuanto a las Calizas de Colmenar este módulo también tiene sus valores menores en el *Banco Gordo*: entre  $39,000 \text{ MP}_a$  y  $46,100 \text{ MP}_a$ , correspondiendo los mayores valores de módulo elástico a muestras

MUESTRA	E (Mpa)	G (Mpa)	Poisson
HOYON	56.302	20.752	0,36
HOYON	55.354	20.403	0,36
HOYON	57.328	21.312	0,34
HOYON	59.130	21.640	0,37
MORATA	57.401	20.844	0,38
MORATA	57.401	20.844	0,38
MORATA	60.150	22.156	0,36
MORATA	61.143	22.637	0,36
MORATA	53.762	19.698	0,36
MORATA	52.493	19.253	0,36
CAMPO REAL	47.989	17.717	0,35
CAMPO REAL	48.486	17.901	0,35
CAMPO REAL	54.186	19.705	0,37
CAMPO REAL	59.359	21.879	0,36
CAMPO REAL	56.026	20.628	0,36
CAMPO REAL	55.931	20.493	0,36

Tabla IV.—Módulos de Poisson, G y E, obtenidos mediante el uso de velocidades sónicas.

del banco *Cabezal*:  $63,800 \text{ MP}_a$ , en el resto de los bancos de las Calizas de Colmenar el módulo elástico varía entre  $50,000$  y  $60,000 \text{ MP}_a$ .

#### 4. Usos

##### — Fabricación de clinker de cemento Portland

En general las calizas de la Unidad Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid presentan una calidad aceptable como componente principal del crudo del clinker del cemento portland, con algunos problemas de bajos rendimientos en la molienda en algunas calizas poco coherentes (margosas y/o micríticas poco cementadas). Además en la Unidad Inferior, especialmente en facies marginales, se encuentran sedimentos detríticos finos (lutitas y arcillas) que pueden utilizarse como componente secundario del clin-

ker del cemento portland (arcillas de Alcalá de Henares y de La Sagra). Estas arcillas, debido a su composición, son susceptibles de ser utilizadas en cementos especiales que tienen un factor limitante en álcalis más elevado. Es de interés resaltar al respecto que la Unidad Intermedia del relleno neógeno de la citada Cuenca suministra también yesos de buena calidad, sin inclusiones de anhidrita, que pueden ser utilizados como regulador de fraguado (por ejemplo yesos de Chinchón y de Colmenar de Oreja).

A modo de resumen se puede decir que las calizas de la Unidad Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid, constituyen una magnífica materia prima de componente primario para la fabricación de clinker de cemento Portland, tanto por sus características químicas, como por la proximidad de materiales susceptibles de ser usados como componente secundario, y regulador de fraguado. Sin embargo, la existencia de otros usos más nobles aconseja que los rechazos de estos usos: recubrimientos de cantera, residuos de elaboración de rocas ornamentales, finos de trituración de áridos..., pudieran ser usados perfectamente en la preparación del componente primario del clinker, contribuyendo así a una racionalización del uso del recurso.

##### — Fabricación de cales

La especificación, que debe cumplir una roca calcárea para la fabricación de cales, desde el punto de vista mecánico, es la de presentar una resistencia superior a  $39 \text{ MP}_a$ , para evitar problemas de apelmazamiento por machaqueo en el horno. La composición química depende de los usos, en general se exige que el contenido en CaO de la caliza supere el 50 por 100; el MgO debe de ser inferior al 1 por 100; el contenido en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , se limitan al 1 por 100; otros componentes sometidos a penalización son el contenido en azufre, y en cationes pesados.

La calidad física, mineralógica y química de las calizas de la Unidad Superior ha permitido instalar una planta de calcinación en la Carretera de Valencia, en la que se fabrican unas  $25,000 \text{ tm/año}$  de cal viva, que se comercializan como hidrato de cal. Este producto se usa en tratamientos industriales como producto alcalinizante en la inmovilización de cationes pesados, tratamiento de residuos orgánicos, acondicionador de

aguas residuales...; así mismo se usa en la estabilización de suelos en Obras Públicas, corrector de suelos agrícolas, retardador de fraguado de yeso y elaboración de morteros de cal.

El producto elaborado presenta las características físicas que aparecen en la tabla V.

PROPIEDADES FISICAS	
Aspecto	Polvo blanco seco.
Estructura cristalina	Hexagonal.
Peso molecular	74,09
Densidad	2,24 g/ml
Densidad granel	426 kg/m <sup>3</sup>
Finura (tamizado) < 90 micras	97 %
Blancura Cie Lab.	L > 96
Solubilidad en agua (10°C).	1,7 g/l
Temperatura de deshidratación.	580 °C
Tamaño medio Laser (micras)	12

Tabla V.

Las características químicas de las cales elaboradas en la zona de Arganda del Rey se muestran en la tabla VI.

PROPIEDADES QUIMICAS.	
Ca (OH) <sub>2</sub> tot.	91,9 %
Ca (OH) <sub>2</sub> útil.	90,2 %
Pérdida por calcinación.	24,5 %
CO <sub>2</sub>	1,7 %
MgO	0,35 %
SiO <sub>2</sub>	0,39 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06 %
MnO <sub>2</sub>	0,01 %
S	0,51 %
CaO equivalente	75,0 %
Humedad a 105°C	0,1 %
pH	12,4

Tabla VI.

El contenido en elementos traza de las cales, al igual que el azufre, no son imputables a la materia prima, sino que por el contrario están relacionados con el combustible usado en la fabricación de las cales. Los datos se recogen en la tabla VII.

ELEMENTO	ppm <
Arsénico	20
Cadmio	2
Cromo	20
Níquel	20
Plomo	20
Antimonio	4
Selenio	4

Tabla VII.

#### — Fabricación de cargas

Las calizas para la fabricación de cargas de pinturas, papel..., exigen fundamentalmente unas características de blancura iguales o superiores al 85 por 100. Esta medida debe ser realizada en un reflectímetro en relación a un patrón de blancura que se tomará como 100.

Desde el punto de vista químico las especificaciones para el uso como carga de las calizas vienen dadas en la tabla VIII:

OXIDO	%
CaO >	55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <	0,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <	0,2

Tabla VIII.

#### — Aridos de machaqueo

Cualquier material granular o de machaqueo, que se use en construcción, sólo o bien mezclado con un aglomerante, se denomina árido. La amplia demanda en volumen y calidades de áridos para los diferentes usos constructivos ha hecho que los estudios sobre yacimientos de áridos, así

como las técnicas de caracterización hayan evolucionado muy rápidamente (IAEG, 1984).

Un yacimiento de áridos se define por su forma, dimensiones, posición con respecto al nivel freático, discontinuidades, recubrimiento de estériles y/o material alterado, y por el aprovechamiento (coeficiente) de la masa explotable. Estos parámetros permiten señalar el volumen, el ratio y, como consecuencia, los costes de explotación de los áridos, que permiten definir un valor por unidad de producto natural extraído. En este último parámetro influyen también las características geomecánicas de los materiales de recubrimiento y estériles, tanto en cuanto a consumo de explosivos, como al tipo de maquinaria y su conservación.

Las características mineralógicas y petrográficas del material canterable, y fundamentalmente la naturaleza y el grado de alteración de los minerales, grado de fracturación, así como las propiedades mecánicas del material van a definir las restricciones al uso, tanto en cuanto a los costes unitarios de producción, como a los usos en función de las normativas para su utilización en construcción.

A título meramente indicativo de la influencia de la naturaleza de la roca sobre los costes de extracción y tratamiento, se puede ver la tabla IX, en la que se muestra un estudio comparativo entre los tres tipos básicos de rocas para la obtención de áridos de machaqueo:

- Calizas y dolomías;
- areniscas, gabros y granitos;
- diabasas, ofitas y basaltos.

El uso de las calizas como roca para machaqueo presenta una serie de limitaciones que vienen definidas por las propias características mecánicas intrínsecas de los materiales (resistencia a compresión simple, del mismo orden que la exigible al mortero u hormigón que se va a elaborar con ellos), así como unas características de resistencia mecánica o desgaste mutuo entre los elementos que forman el árido. Existen una serie de ensayos clásicos para caracterizar estas propiedades: Resistencia al desgaste de los áridos en la máquina de los Angeles (dinámico) NLT - 149/72, Coeficiente de friabilidad (estático

Proceso	Calizas y dolomías	Areniscas, gabros y granito.	Ofitas, diabasas, basalto.
Desmote	0.03	0.03	0.03
Sondeos	0.07	0.08	0.13
Explosivos	0.10	0.10	0.11
Carga	0.48	0.48	0.48
Transporte	0.06	0.06	0.06
Machaqueo	0.13	0.19	0.23
Almacenaje	0.13	0.13	0.13
Mantenimiento	0.54	0.67	0.87
C. Polvo	0.04	0.04	0.04
Impuestos	0.10	0.10	0.10
Ventas	0.06	0.06	0.06
Costes prod.	1.30	1.50	1.80
Depreciación	0.38	0.58	0.58
Gastos Gen.	0.10	0.10	0.10
Costes fijos	0.48	0.67	0.67
Costes totales	1.78	2.18	2.47
Coste planta	1925.10 <sup>3</sup>	2885.10 <sup>3</sup>	2885.10 <sup>3</sup>
Costes prod.*	1	1.15	1.38
Costes fijos*	1	1.40	1.40

Tabla IX.—Costes de producción y fijos de una planta de áridos de 272 t/h. Los valores están expresados en \$ del año 1972, salvo los señalados con \*, que representan valores relativos referidos a áridos de machaqueo de calizas y dolomías. Adaptado y modificado de Lefond (ed.) (1983).

bajo carga) NLT - 351/74. Las especificaciones según usos son las siguientes:

*Aridos para hormigones y capas de base y sub-base de carreteras:*

Los Angeles < 35 por 100

Coeficiente de friabilidad < 35 por 100

*Aridos para capas de rodadura, deberá de procederse a un ensayo de determinación del coeficiente de pulido acelerado (CPA > 0,45 - 0,55 en función de la densidad y tonelaje del tráfico, dentro de una escala de 0 a 1, NLT - 174/73.*

Los Angeles < 25.

*Aridos para balasto:*

Los Angeles < 20.

Los áridos de machaqueo muestreados en el presente trabajo dan los valores para el ensayo de Los Angeles que se reproducen en la tabla X:

CANTERAS	%
HOYON	31,5
MORATA	29,0
CAMPO REAL	34,0

Tabla X.

Estos valores indican que los áridos estudiados elaborados con las calizas de la Unidad Superior tienen unos coeficientes de desgaste elevados, en torno al 30 por 100, pudiendo cumplir la normativa, en lo que a este ensayo se refiere, de áridos para hormigones y áridos para base y sub-base de carreteras. Si se quisieran utilizar en otras unidades de obra, a las que se exija una mayor calidad, debería realizarse un estudio del material más sano del frente de cantera.

#### — Rocas ornamentales:

(Caliza de Colmenar - Travertino de Morata)

La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM, en su especificación ASTM C-568-79, califica las calizas para utilizar en exteriores de edificios como de alta, media y baja calidad, en función de cinco características: absorción, densidad, resistencia a compresión simple, módulo de ruptura y resistencia a la abrasión.

Según los valores de la absorción, prácticamente todas las calizas estudiadas se mantienen por debajo del 3 por 100, por lo que podrían considerarse como de *alta densidad*. Los valores de la densidad son más restrictivos, situándose el límite de *alta densidad* en 2,560 g/cm<sup>3</sup>, que es superado por el 44 por 100 de los valores, estando el resto en la zona de *densidad media*. En cambio, según los límites impuestos a los valores de la resistencia a compresión, se consideran de alta densidad cuando se supera el valor  $qu = 550 \text{ Kg/cm}^2$ , que es superado en el 75 por 100 de los resultados obtenidos, pudiendo considerarse de *alta densidad*.

Por tanto las calizas de dichas canteras puede considerarse de *media-alta densidad* (calidad) con vistas a su utilización en exteriores, según

la especificación ASTM C-568-79, con propiedades muy similares a las Calizas de Colmenar que se utilizaron intensamente desde el siglo XVIII, en la construcción monumental en Madrid.

Como vimos al estudiar las propiedades físicas de estas rocas, las principales canteras, actualmente en explotación, de la zona cumplen perfectamente las especificaciones para considerarlas rocas de construcción: rocas ornamentales utilizables en exteriores, con calidades muy similares a las Calizas de Colmenar, cuyo buen comportamiento geotécnico y frente a la alteración urbana puede observarse hoy día en muchos monumentos madrileños (Palacio Real, estatuas de la Plaza de Oriente, Palacio de Aranjuez, Puerta de Alcalá, Museo del Prado, ...) y en otros monumentos de otras regiones como la Catedral de Toledo.

El estudio petrográfico nos indica que gran parte de las rocas calizas de la zona estudiada constituyen un recurso potencial de rocas ornamentales, especialmente las zonas de Campo Real (con bonitas facies travertínicas de la Unidad Superior) y proximidades de Arganda (en el actual vertedero de residuos inertes de Arganda hemos recogido facies de gran belleza cuyas características petrográficas hacen prever buenas propiedades físicas para su utilización como rocas ornamentales. El encontrarse en un país con importantes recursos en rocas carbonáticas ornamentales (LOMBARDERO y REGUEIRO, 1992) es tal vez la causa de que aún no hayan sido explotadas con ese fin, pero creemos que su belleza y sus propiedades físicas, así como la proximidad a un centro de consumo como Madrid hacen de ellas un importante recurso.

#### c) Características de las explotaciones

##### Sistemas de explotación

- Canteras en laderas (pequeña importancia económica y gran impacto visual).
- Cortas en superficie, siguiendo la estructura de los bancos de caliza.
- Minería subterránea, utilizada en diferentes épocas para la extracción de bloques en las canteras de Colmenar.

## CARTELA APLICADA A LA CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGIA DE CANTERAS CALIZAS

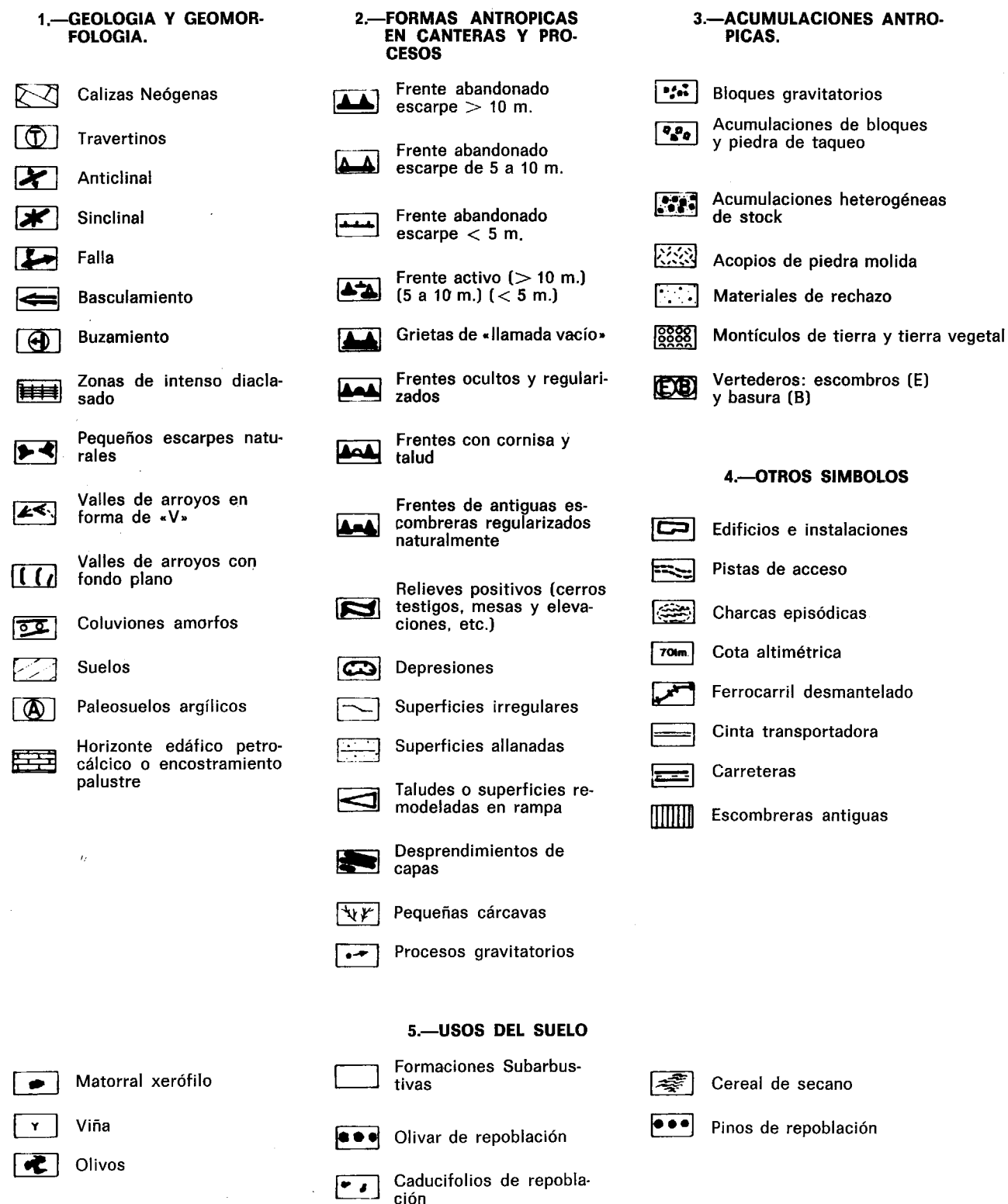


Figura 2.

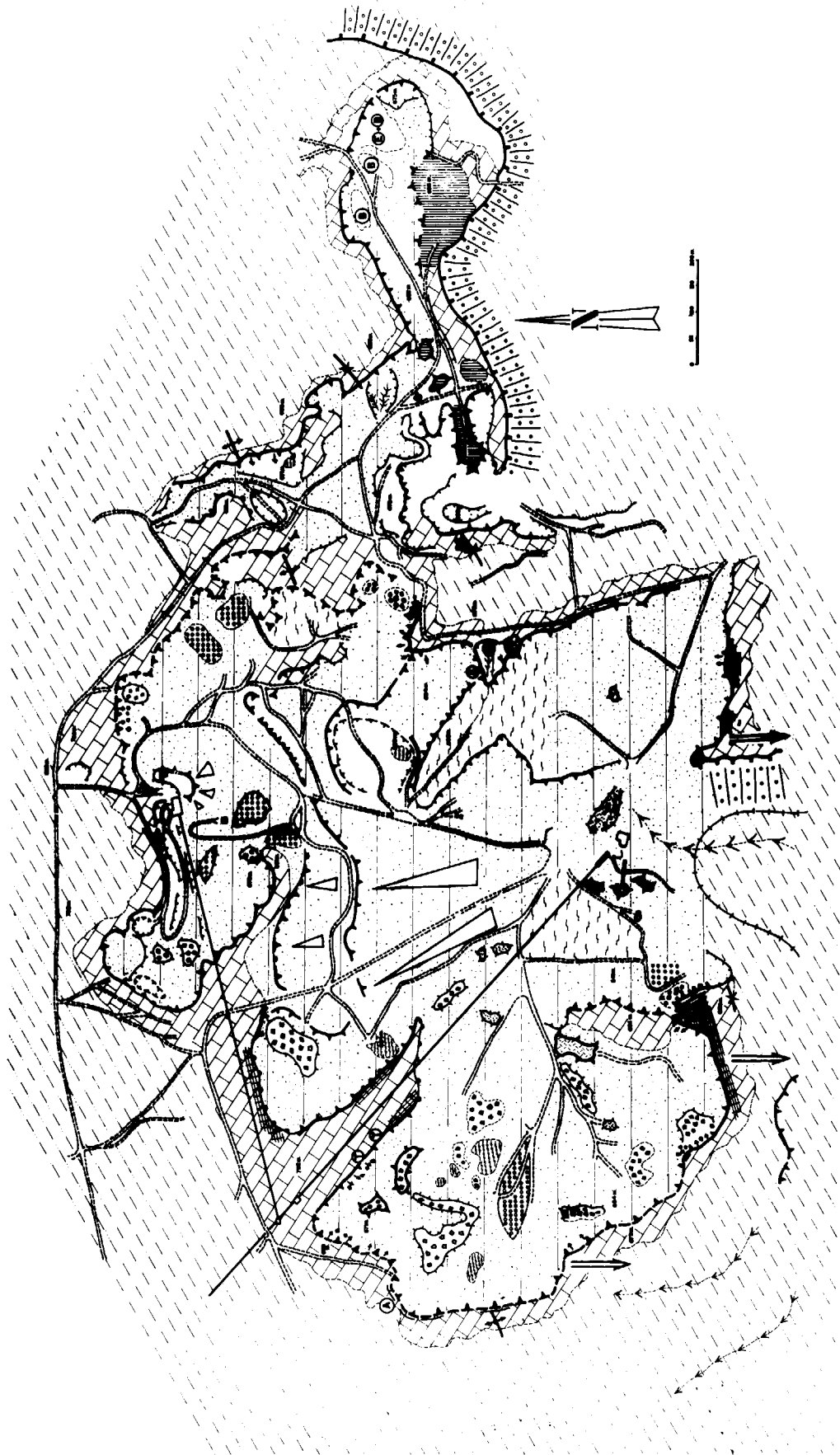


Figura 3.—Cartografía geomorfológica de las canteras situadas al oeste de la Ctra. Arganda-Morata de Tajuña (Valderribas) y usos del suelo.

#### Extensión y volumen de las explotaciones

Las explotaciones presentan una extensión evaluable provisionalmente en 4-8 km<sup>2</sup>, lo que implica un volumen extraído superior a 30 millones de m<sup>3</sup>. Las explotaciones no activas presentan síntomas de revegetación natural al cabo de diez años. En la zona no se observa el desarrollo de técnicas de conservación del suelo vegetal, que en general suele acopiarse en los vertederos de rechazo. Las características geomecánicas de las rocas permiten el diseño de taludes verticales, con alturas superiores a 10 m, sin bermas intermedias y que se mantienen estables durante años. La mayoría de estos taludes carecen de señalización, y son comunes los desprendimientos de bloques rocosos en la mayoría de ellos. Las figs. 2 y 3 son una muestra de las posibilidades de la cartografía geomorfológica en el estudio de la evaluación de la extensión y características de las explotaciones a cielo abierto.

#### Extensión y volumen de los vertederos de rechazo

Los acopios de rechazo, presentan volúmenes importantes, centenares de miles de m<sup>3</sup>, a veces depositados sobre la superficie erosiva, dando lugar a *relieves artificiales*, y otras veces se han depositado en vaguadas, quedando en este caso mejor integrados en el paisaje.

#### IV. CONCLUSIONES

Refiriéndonos a las posibles reservas de calizas en la zona de estudio, hay que señalar que son aproximadamente de mil millones de toneladas, que podríamos considerar prácticamente ilimitadas a efectos de la producción de cemento. Sin embargo, para otros usos alternativos de estas calizas: rocas ornamentales, áridos de machaqueo, cales, cargas, etc. ..., las reservas son menores, precisándose un estudio específico detallado para cada uno de los usos posibles para establecer las correspondientes reservas.

#### Planificación a largo plazo

— En el futuro debería llegarse a centralizar todas las explotaciones existentes en dos o

tres cortas diseñadas correctamente en cuanto a la minimización del impacto ambiental.

— Estas cortas permitirían incluso un aprovechamiento integral de los productos, con la minimización de la producción de acopios de rechazo. El orden podría ser: rocas ornamentales >> áridos de machaqueo >> cargas >> cales >> clinker de cemento. Los áridos naturales de la base de las calizas podrían extraerse y los materiales arcillosos podrían utilizarse como componente secundario para la fabricación de clinker. Estas explotaciones crearían grandes explanaciones, fácilmente integrables desde el punto de vista geomorfológico en el paisaje de los Páramos.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el Plan Regional de Investigación de la Comunidad de Madrid, formando parte del Proyecto C 190/90 *Las canteras de calizas de los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: valoración de recursos, impacto ambiental y propuesta de restauración de explotaciones.*

#### REFERENCIAS

- ASTM (1981): *Anual Book of ASTM Standards, part. 19 Soil and Rock: building Stones C568-79.*
- BROCK, E y FRANKLIN, J. A. (1972): *The point-load strength.* Int. J. Rock Mech. Min Sci., 9, 669-697.
- CALVO, J. P.; ORDOÑEZ, S., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1986): *Facies carbonáticas del páramo terminal de la zona Ocaña-Yepes (Sector Sur de la Cuenca de Madrid).* XI Congreso Español de Sedimentología, Barcelona. Resúmenes de Comunicaciones, 41.
- CALVO, J. P.; ORDOÑEZ, S.; GARCIA DEL CURA, M. A.; HOYOS, M.; ALONSO ZARZA, A. M.; SANZ, E., y RODRIGUEZ ARANDA, J. P. (1989): *Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid.* Acta Geológica Hispánica, 24: 281-298.
- DAPENA, E.; ORDOÑEZ, S., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1989): *Estudio de las rocas calizas utilizadas durante los siglos XVIII y XIX en la construcción de palacios de Madrid.* Ingeniería Civil, 71, 67-77.
- GARCIA CALLEJA, M. A. (1991): *Estudio petrológico y geoquímico de las materias primas de la Cuenca de Madrid para su uso en la industria cementera.* Tesis Doctoral U.C.M. Madrid, 463 pp.



GARCIA CALLEJA, M. A.; SORIANO, J., y ORDÓÑEZ, S. (1991): *Materias primas para la fabricación de clinker de cemento Portland en el área de Madrid*. IV Congreso de Geoquímica de España, 493-506.

GARCIA DEL CURA, M. A.; ORDÓÑEZ, S.; GONZALEZ MARTIN, J. A. (1991): *Los carbonatos biogénicos de los episodios terminales del relleno Neógeno de la Cuenca de Madrid*. Comunicaciones I Congreso del Grupo Español del Terciario, 136-139.

GARCIA DE MIGUEL, J. M.; SANCHEZ CASTILLO, L.; PUCHE RIART, O., y GONZALEZ AGUADO, M. T. (1992): *Study of the monumental stone from Madrid district*. 7th Int. Cong. on Deterioration and Conservation of Stone, Lisboa, June 1992, 1, 47-56.

GHOST, D. R., y SRIVASTAVA, M. (1991): *Point-load strength: An index for classification of rock material*. Bull. Int. Assoc. Engineering Geology, 44, 27-34.

GONZALEZ MARTIN, J. A., y ASENSIO AMOR, I. (1983): *Geomorfología y sedimentología de los conglomerados fluviales neógenos de la «Mesa de Ocaña-Tarancón»*. Rev. Mat. Proc. Geol. I, 83-102.

HERNANDEZ PACHECO, F. (1945): *Los materiales litológicos de Madrid empleados en la construcción*. Las Ciencias X, 4, 959-982.

HERNANDEZ PACHECO, E., y HERNANDEZ PACHECO, F. (1926): *Aranjuez y el territorio al sur de Madrid*. Excursión B 3. XIV. Int. Geol. Congress, Madrid.

IAEG (1984): *Symposium International Sur les Granulats*. Niza, 1984, Bull. Int. Assoc. Engineering Geology, n.º 29 y 30.

ITGE (1988): *Atlas Geocientífico del Medio Natural de la Comunidad de Madrid*. MIE, Madrid, 83 pp.

LEFOND, S. J. (ed.), 1983: *Industrial Minerals and Rocks*. (5 ed.). 2 vols. Am. I. Min. Metal & Petroleum Eng. New York. 1446 pp.

LOMBARDERO, M., y REGUEIRO, M. (1992): *Spanish natural stone*. Industrial Minerals, 30, 81-97.

LOPEZ VERA, F., y PEDRAZA GILSANZ, J. (1976): *Síntesis geomorfológica de la Cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid*. Estudios Geológicos, 32, 499-508.

MEGIAS, A. G.; ORDÓÑEZ, S., y CALVO, J. P. (1983): *Nuevas aportaciones al conocimiento geológico de la Cuenca de Madrid*. Revista de Materiales y Procesos Geológicos, 1, 163-191.

ORDÓÑEZ, S., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1983): *Recent and Tertiary fluvial carbonates in Central Spain*. In Ancient and Modern Fluvial Systems (Ed. by J. D. Collinson & J. Lewin) Spec. Publs. IAS, 6, 485-497.

ORDÓÑEZ, S., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1986): *Secuencias fluvio-lacustres del páramo terminal de Campo Real (Cuenca de Madrid)*. XI Congreso de Sedimentología, Barcelona. Resúmenes de Comunicaciones, 126.

ORDÓÑEZ, S.; GONZALEZ, J. A., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1986): *Carbonatos fluviales en la Mesa Ocaña-Tarancón*. Actas IX Congreso Nacional de Sedimentología, Salamanca, 1980, 1, 277-298.

PEREZ GONZALEZ, A. (1982): *Mioceno y Cuaternario de la Llanura Manchega y sus relaciones con la Cuenca del Tajo*. Tesis Doctoral Universidad Complutense. Madrid. 787 pp.

SANZ, E.; CALVO, J. P.; GARCIA DEL CURA, M. A., y ORDÓÑEZ, S. (1989): *Desarrollo de perfiles de calcreta en calizas del Terciario Superior de la Cuenca de Madrid*. Com. XII Cong. Español de Sedimentología, 257-260.

SANZ, E.; CALVO, J. P.; GARCIA DEL CURA, M. A., y ORDÓÑEZ, S. (1991): *Origin and diagenesis of calcretes in Upper Miocene limestones, Southern Madrid Basin, Spain*. Rev. Soc. Geol. de España, 4: 127-142.

SANZ, E.; CALVO, J. P., y ORDÓÑEZ, S. (1994): *Rasgos y procesos de karstificación asociados a depósitos lacustres carbonáticos: El tránsito Mioceno-Plioceno en el Sur de la Cuenca de Madrid*. II Congreso del Grupo Español del Terciario. Jaca. 283-286.

TURK, N, y DEARMAN, W. R. (1985): *Improvements in the determination of point load strength*. Bull. Int. Assoc. Engineering. Geol., 31, 137-142.

VAUDOOUR, J. (1979): *La région de Madrid. Altérations, sols et paléosols*. 390 pp. Ed. Ophrys. Aix.

Original recibido: Septiembre de 1994.

Original aceptado: Noviembre de 1994.

## Petrología y geoquímica de los basaltos calco-alcalinos, Autuniense, de Ojos Negros (Cadena Ibérica Oriental, Teruel).

Por M. LAGO (\*), E. ARRANZ (\*), A. POCOVI (\*), R. VAQUER (\*\*)  
y A. GIL-IMAZ (\*)

### RESUMEN

Se exponen los caracteres de emplazamiento, la composición mineral (OI+Cpx+PI) y la geoquímica (mayores y REE) de unos basaltos calco-alcalinos con probable edad Autuniense. Se sugiere un origen subcortical para el magma, generado en condiciones compresivas, cuyo emplazamiento tuvo lugar durante la distensión tardihercínica que afectó a la Cadena Ibérica.

*Palabras clave:* Basalto, Calco-alcalino, Cadena Ibérica, Autuniense.

### ABSTRACT

In this work, the setting characters, the mineral (OI+Cpx+PI) and geochemical compositions (major and REE) of calc-alkaline basalts of probable Autunian age are described. A magmatic subcrustal origin, generated in compressive conditions, is suggested, and whose setting was developed during the tardi-hercynian distension that affected the Iberian Chain.

*Key words:* Basalt, Calc-alkaline, Iberian Chain, Autunian.

### 1. INTRODUCCION

El magmatismo calco-alcalino, de probable edad Autuniense, está ampliamente representado en los materiales paleozoicos de la Cadena Ibérica (LAGO et al., 1991). Consta de términos fragmentarios y masivos (sills y diques hipovolcánicos) con la composición de basaltos aluminicos, andesitas piroxénicas, andesitas anfibólicas, dacitas y riolitas, siendo las andesitas los términos mayoritarios (en número y volumen de afloramientos). Los basaltos representan un volumen minoritario y están afectados por procesos de alteración secundaria, con, en general, gran desarrollo e intensidad.

Los basaltos del sector de Ojos Negros (fig. 1a)

(\*) Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

(\*\*) Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica. Universidad de Barcelona (Pedralbes). 08071 Barcelona.

tienen un interés destacado por los motivos: a) presentar una ubicación estratigráfica excepcional, limitada a techo por unos sedimentos atribuidos al Saxoniense (DE LA PEÑA et al., 1979); b) tener una menor alteración composicional (mineralogía y quimismo) respecto a los términos análogos, con igual edad, ubicados en otros sectores de la Cadena Ibérica s.l.; c) presentar una afinidad calco-alcalina, ya identificada a nivel geoquímico (NAVIDAD, 1984; MUÑOZ et al., 1985, y LAGO et al., 1987), cuyos primeros datos mineralógicos, junto a los más extensos de geoquímica total, se exponen en este trabajo.

### 2. MARCO GEOLOGICO Y EDAD DEL EMPLAZAMIENTO

El afloramiento cartografiado por nosotros presenta un desarrollo NO-SE (fig. 1b) y consta de varios elementos individualizados que, muy posi-

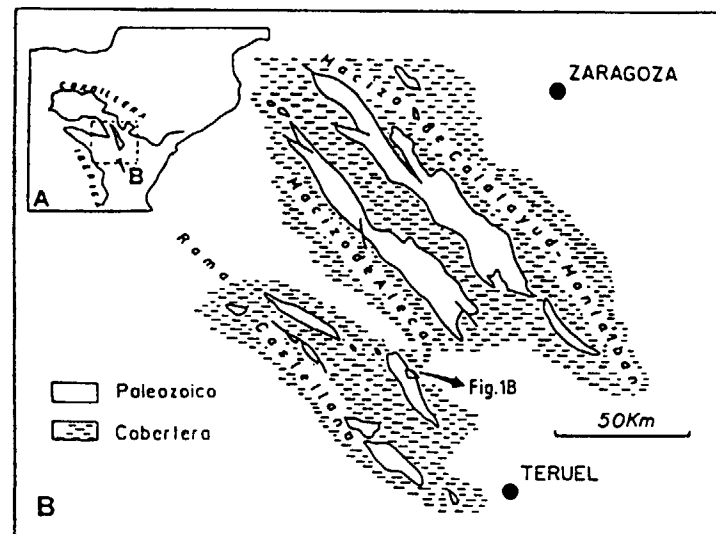
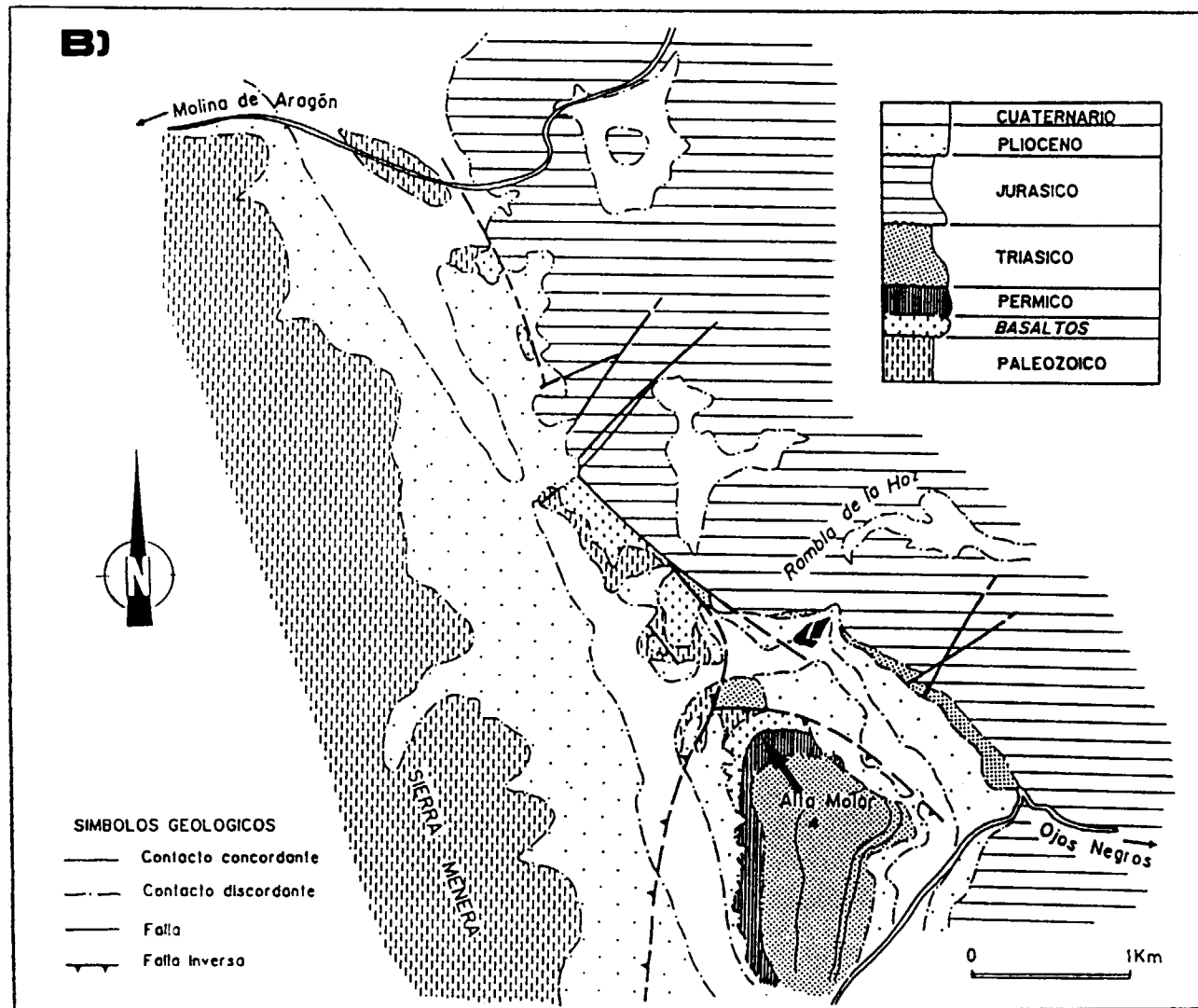


Figura 1.—(A): Localización del área de estudio. (B): Cartografía geológica de la Rambla de la Hoz (Ojos Negros). La flecha indica la posición del perfil realizado (fig. 2).



blemente, constituían, en su origen, una lámina única posteriormente desmembrada por procesos tectónicos. El sector más favorable para su estudio es la Rambla de la Hoz (fig. 1b), donde un perfil realizado (fig. 2) comprende 110 metros de potencia. La base de la intrusión es discordante con las pizarras del Silúrico superior (BASCONES et al., 1982) que experimentan un metamorfismo de contacto muy débil de escala centimétrica. En algunos sectores de la base se observan: a) vesículas de desgasificación (aisladas o interconectadas) de tamaño centimétrico y, por lo general, no orientadas, y b) una brecha heterométrica (con cantos de pizarras y cuarcitas). El afloramiento basáltico adopta una estructura bastante uniforme si bien hay que destacar la presencia de algunos diques tardíos, de pequeño desarrollo, que lo atraviesan. La transición entre el basalto y los conglomerados atribuidos al Buntsandstein está constituida por un tramo con alternancia de arcillas y margas entre las que están ubicados niveles cineríticos de espesor centimétrico. La edad apuntada como Saxonense para estos niveles rojos (DE LA PEÑA et al., 1979), suprayacentes al basalto, parece coherente con los datos, hasta el momento disponibles, de geología regional, de lo cual resultaría una actividad magmática, probablemente Autuniense, valor concordante con los datos regionales para este magmatismo calco-alcalino en la Cadena Ibérica y, en todo caso, anterior al Triás.

### 3. PETROLOGIA Y MINERALOGIA

El primer rasgo que destaca en el basalto (fig. 2) es la presencia de una disposición gravitativa donde, en la base, destaca la mayor proporción de olivino y piroxeno mientras que, hacia el techo, la roca está enriquecida, relativamente, en plagioclasa.

En lo esencial, los diversos litotipos comprenden términos hipocrystalinos, porfídicos, con apreciable seriación granulométrica de los fenocristales y una cierta orientación preferente que, al menos, en las rocas próximas al techo de la lava, es bastante acentuada (alineación acoplada de las plagioclasas). Los análisis químicos en minerales han sido realizados con una microsonda CAMEBAX SX-50 (Univ. Granada y Toulouse) empleando los patrones convencionales al efecto.

Los olivinos (tabla 1) presentan un rango composicional  $Fo_{7.3}-Fo_{6.8}$  y, en detalle, destaca su zonación que está puesta de manifiesto por las variaciones de los cationes Ti y Cr, pudiendo señalar que los valores más altos en Cr (condiciones más iniciales) toman los valores más bajos en Ti, situación que toma un valor opuesto en la cristalización final.

Los piroxenos comprenden la augita diopsídica (fig. 3a) cuyo carácter zonado, según análisis puntuales, tomados de forma equidistante, desde el centro al borde del cristal (14 puntos), ha permitido poner de manifiesto: a) un descenso del Ca desde el centro hacia el borde, y un comportamiento opuesto para el Mg (fig. 3b); b) un carácter oscilatorio (centro a borde), y con signo opuesto, para el Sr y K, y del Sr y Ba (fig. 3c) y, c) un descenso relativo en Cr y un descenso en Ti desde el centro al borde según unas pautas globales que, a pequeña escala, presentan valores altos de concentración. Dentro de este contexto, destaca que, en general, el Na tiende a disminuir su concentración desde el centro hacia la periferia del cristal (fig. 3d), en la tabla 3 (datos composicionales) se puede observar el reducido rango de enriquecimiento en Fe según el rango  $Fs_{8.8}-Fs_{11.8}$  (fig. 3a). La afinidad calco-alcalina está puesta de manifiesto por las relaciones Ti-(Ca+Na) en la figura 4 y la de Ti- $Al_{total}$  (fig. 5) lo que, de otra parte, corrobora la relación inversa del  $\% SiO_2-\% Al_2O_3$  (LE BAS, 1962) con adscripción al campo de la afinidad calco-alcalina.

Las plagioclasas presentan un rango  $An_{8.3}-An_{7.2}$  (tabla 2) y un zonado destacado que está puesto de manifiesto, también, por los rangos de BaO (0.002-0.043).

### 4. COMPOSICION GEOQUIMICA

Las seis muestras seleccionadas, analizadas por AA, FRX, ICP, NNA y ICP-MS en el Laboratorio XRAL, Toronto, Canadá (tabla 4) corresponden a las rocas con menos alteración, controlada al microscopio, de una selección de muestras equidistantes en el perfil de la lava (fig. 2). Estas rocas representan un tránsito entre los basaltos aluminicos y las andesitas basálticas ( $\% SiO_2-Nb/Y$ : fig. 6) cuyos valores mg oscilan entre 0.561-0.684, e indican una cierta diferenciación. La afinidad calco-alcalina está puesta de mani-

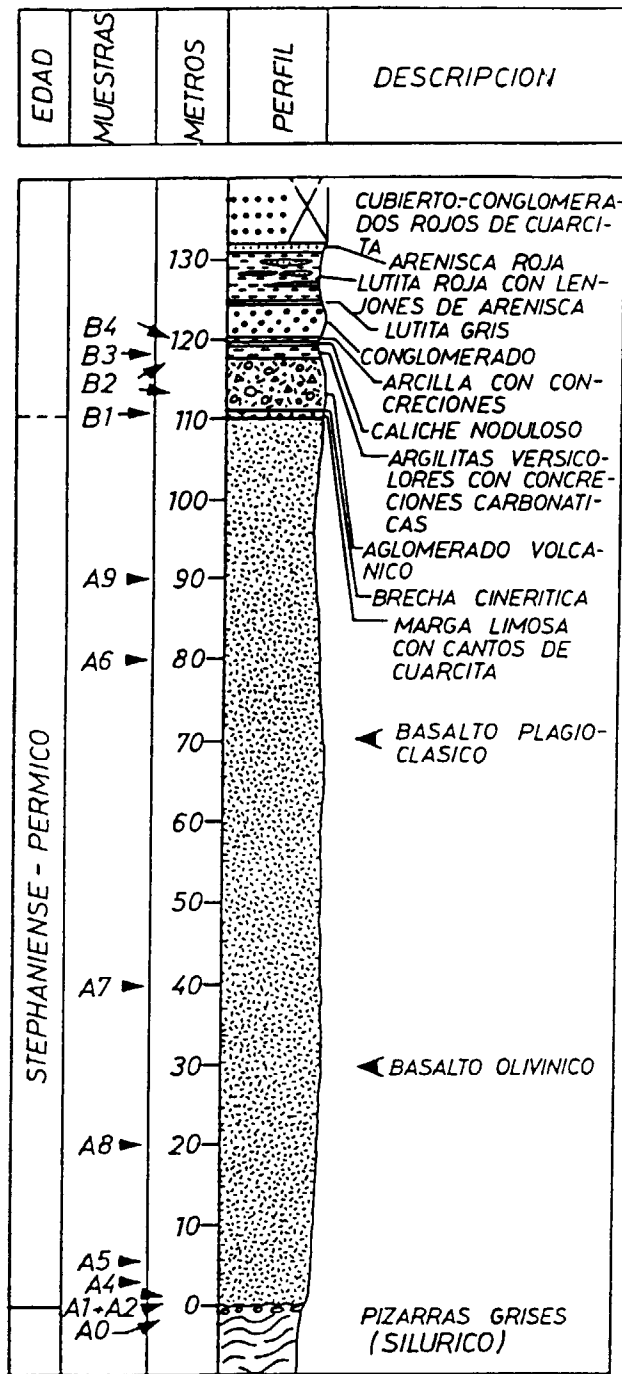


Figura 2.—Perfil realizado en Rambla de la Hoz (ver posición —flecha— en la figura 1B).

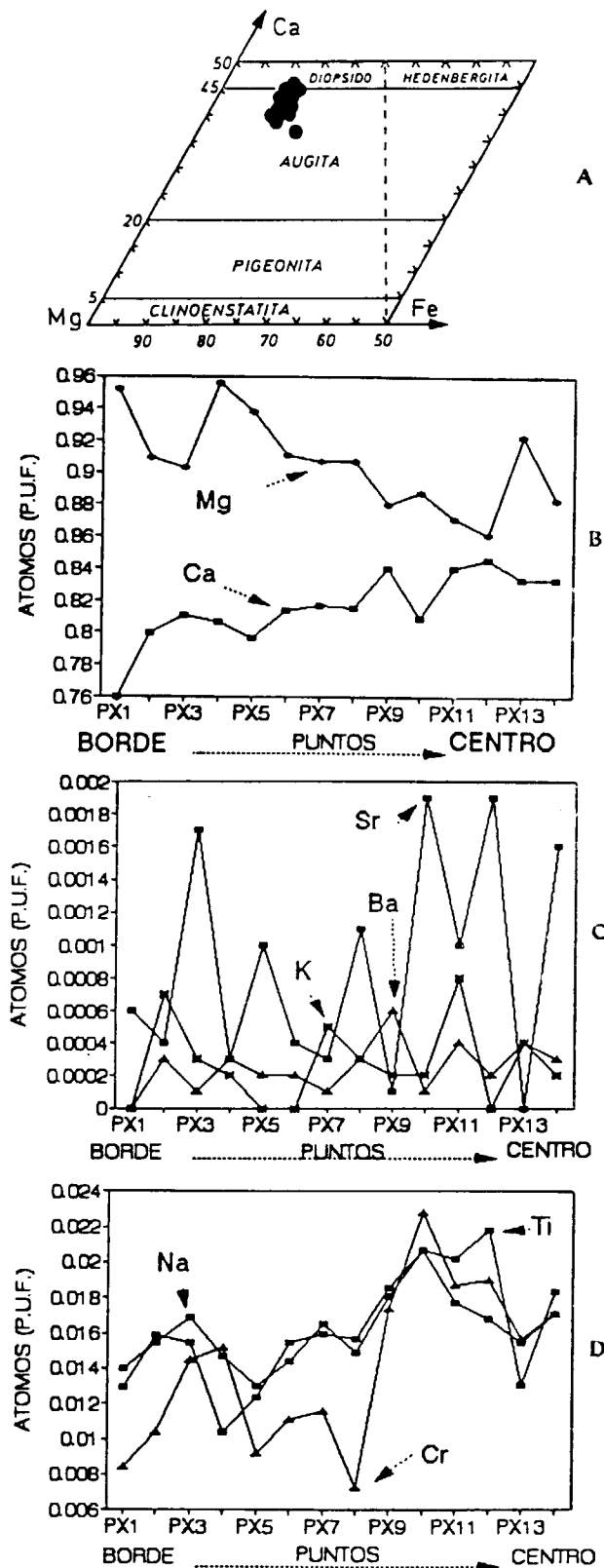


Figura 3.—A, B, C y D.

	O1	O2	O3
SiO2	32.238	37.91	37.352
Al2O3	0.057	0.002	0.068
TiO2	0.03	0.007	0.008
Cr2O3	0.018	0.025	0.021
FeO	28.29	26.204	24.422
MnO	0.395	0.359	0.352
NiO	n.d.	0.117	n.d.
MgO	33.732	35.188	37.21
CaO	0.239	0.15	0.168
Na2O	n.d.	0.026	n.d.
K2O	n.d.	0.007	n.d.
BaO	n.d.	0	n.d.
SrO	n.d.	0.005	n.d.
<hr/>			
Si	0.9985	1.0055	0.9933
Al	0.0018	0.0001	0.0021
Ti	0.0006	0.0001	0.0002
Cr	0.0004	0.0005	0.0004
Fe2+	0.6344	0.5812	0.5374
Mn	0.009	0.0081	0.0078
Ni	n.d.	0.0025	n.d.
Mg	1.3482	1.391	1.4593
Ca	0.0069	0.0043	0.0047
Na	n.d.	0.0013	n.d.
K	n.d.	0.0002	n.d.
Ba	n.d.	0	n.d.
Sr	n.d.	0.0001	n.d.
TOTAL	2.9998	2.9949	3.0053
Fo	68	70.53	73.09
Fa	32	29.47	26.91

TABLA I

	P1	P2	P3
SiO2	47.606	49.16	50.6
Al2O3	33.096	31.787	30.772
FeO	0.351	0.499	0.463
CaO	16.993	15.996	14.928
Na2O	1.83	2.415	3.013
K2O	0.109	0.134	0.223
BaO	0.014	0.009	0.002
<hr/>			
Si	2.1879	2.2537	2.3125
Al	1.7927	1.7175	1.6575
Fe2+	0.0135	0.0191	0.0177
Ca	0.8367	0.7857	0.731
Na	0.1631	0.2147	0.267
K	0.0064	0.0078	0.013
Ba	0.0003	0.0002	0
TOTAL	5.0005	4.9988	4.9987
Or	0.64	0.78	1.29
Ab	16.21	21.29	26.41
An	83.16	77.93	72.3

TABLA II

fiesto por: a) el valor AFM; b) relación Cr (ppm)-% SiO2 (fig. 7); c) % SiO2-FeO\*/MgO (fig. 8); d) relaciones Th/Yb-Ta/Yb (fig. 9); e) un valor destacado en Th respecto al Hf y Ta (tabla 4) que, a su vez, está corroborado por el escaso contenido en Tb y Ta (tabla 4).

Los valores aquí obtenidos (tabla 4) responden a los comportamientos clásicos de los elementos, mayores y trazas, según los diagramas de Harker que, en lo esencial, dan valores substancialmente parecidos a los de los basaltos calcoalcalinos. Los valores elevados en Sr e Y reflejan la proporción significativa de plagioclasa en la roca del mismo modo que los valores elevados en compatibles (con rangos en Sc: 26-31 ppm; V: 172-223 ppm; Cr: 360-440 ppm; Co: 17-39 ppm; Ni: 115-156 ppm y Cu: 21-97 ppm) representan una proporción importante de olivino y clinopiroxeno. El contenido en compatibles indica una baja diferenciación que, curiosamente, guarda una cierta contradicción con el anómalo contenido en incompatibles tales como Th, Rb y Ba, lo que, considerado en conjunto, podría ser, más bien, un criterio indicador de una cierta contaminación por los materiales corticales del magma subcortical primitivo. El espectro de REE (fig. 10) muestra una pauta regularmente decreciente desde las LREE hasta las HREE sin presentar anomalías especiales. El estudio de la relación (La/Lu)\*Th (fig. 11) permite observar un cierto aumento en HREE con el avance de la diferenciación, lo cual, por tratarse de una masa muy reducida, debe atribuirse, más bien, a una variación por efecto de la diferenciación, bajo las circunstancias de diferenciación gravitativa. De hecho, el Th varía tan sólo entre 4.1 y 5.6 ppm lo que no se ajustaría, en rigor, a un proceso de variación que afectase al conjunto de los coeficientes de reparto.

### 5. CONSIDERACIONES ESTABLECIDAS

Las condiciones del afloramiento no permiten confirmar, con certeza, ni tampoco rechazar, la hipótesis, por vía de generalización, que el conjunto del afloramiento se pueda considerar como una cuenca *pull apart* tal y como ha sido propuesto, para este magmatismo, en otros sectores con cierta analogía estructural (LAGO et al., 1991, 1992 y 1993). Los rasgos estructurales observados indican el posible desarrollo de una cuenca

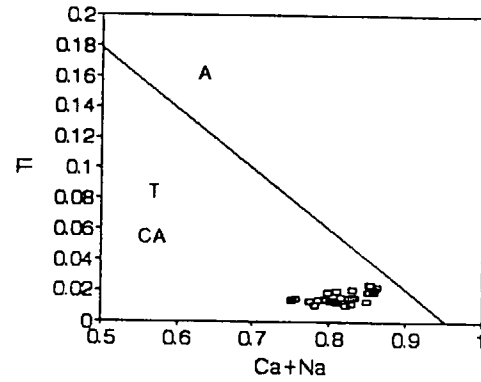


Figura 4.

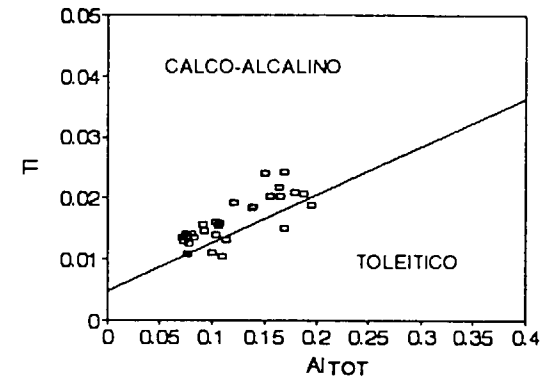
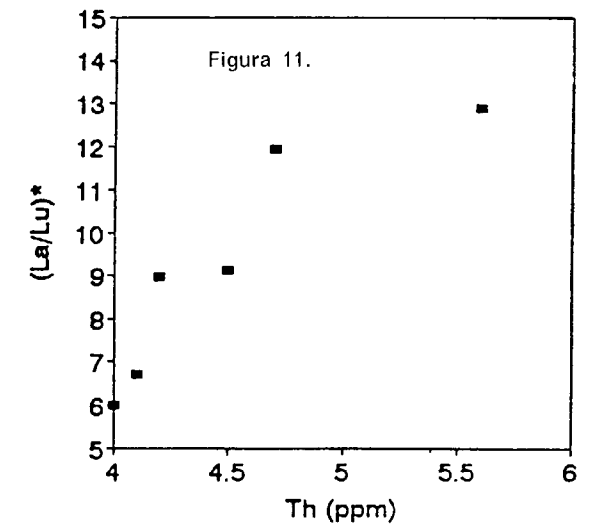
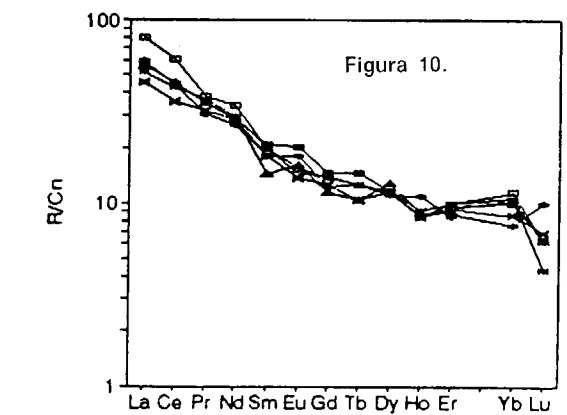
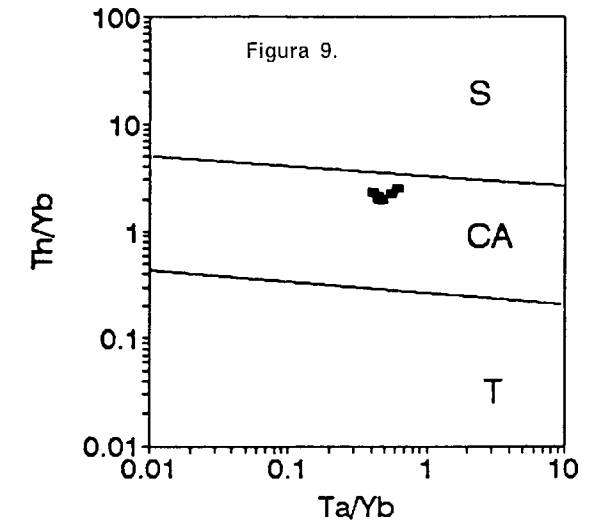
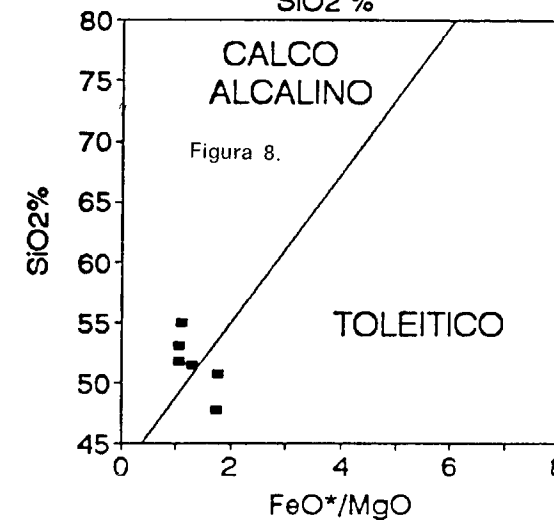
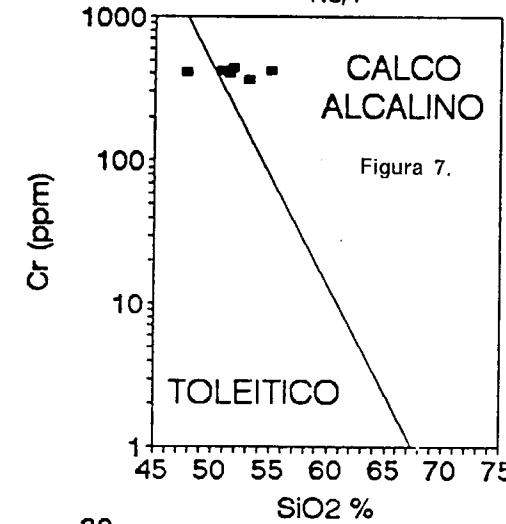
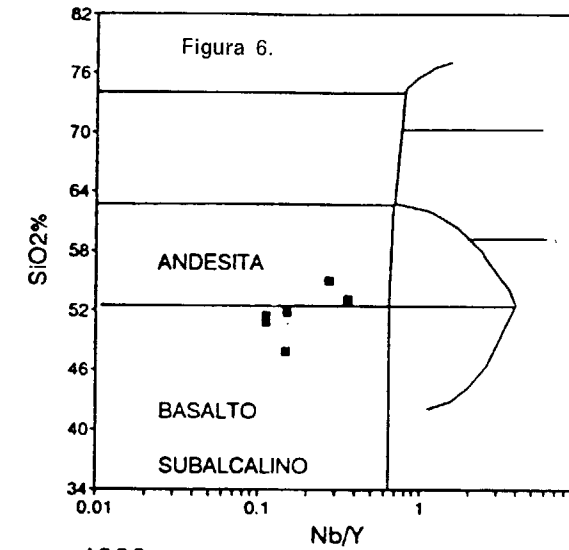


Figura 5.

	PX1	PX2	PX3	PX4	PX5	PX6	PX7	PX8	PX9	PX10	PX11	PX12	PX13	PX14
SiO <sub>2</sub>	53.416	52.264	52.644	52.841	52.851	52.279	52.241	52.327	51.406	51.024	51.071	50.706	52.317	51.478
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.684	2.5	2.466	2.559	1.814	2.314	2.409	2.304	3.231	4.371	3.595	3.793	2.64	3.196
TiO <sub>2</sub>	0.471	0.577	0.566	0.381	0.452	0.563	0.581	0.573	0.679	0.757	0.731	0.789	0.477	0.668
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.292	0.358	0.503	0.53	0.318	0.384	0.4	0.254	0.602	0.793	0.646	0.653	0.543	0.59
FeO	7.561	7.16	6.809	5.441	6.865	7.065	6.893	7.248	6.69	6.207	6.344	6.439	5.696	6.569
MnO	0.224	0.216	0.188	0.149	0.211	0.193	0.196	0.199	0.174	0.19	0.167	0.133	0.152	0.148
NiO	0.014	0.011	0	0	0.003	0.006	0	0	0.008	0	0	0.002	0.008	0.007
MgO	17.556	16.66	16.612	17.662	17.19	16.712	16.615	16.639	16.152	16.271	15.924	15.684	16.961	16.163
CaO	19.505	20.384	20.746	20.739	20.307	20.771	20.829	20.832	21.472	20.735	21.351	21.434	21.321	21.226
Na <sub>2</sub> O	0.199	0.218	0.239	0.209	0.183	0.203	0.232	0.21	0.256	0.293	0.249	0.236	0.219	0.241
K <sub>2</sub> O	0	0.014	0.006	0.004	0	0.001	0.011	0.006	0.005	0.005	0.017	0	0.009	0.005
BaO	0.002	0.02	0.007	0.02	0.012	0.013	0.006	0.018	0.042	0.01	0.026	0.013	0.026	0.02
SrO	0.028	0.021	0.0081	0.016	0.048	0.017	0.014	0.053	0.007	0.09	0.046	0.09	0	0.076
Si	1.9428	1.9138	1.9193	1.9178	1.9347	1.9118	1.9115	1.9119	1.877	1.8585	1.8748	1.8669	1.9079	1.8857
Al <sup>IV</sup>	0.0572	0.0862	0.0807	0.0822	0.0653	0.0882	0.0885	0.0881	0.123	0.1415	0.1252	0.1331	0.0921	0.1143
Al <sup>VI</sup>	0.015	0.0217	0.0252	0.0273	0.013	0.0115	0.0154	0.0111	0.016	0.0461	0.0303	0.0315	0.0214	0.0237
Ti	0.0129	0.0159	0.0155	0.0104	0.0124	0.0155	0.016	0.0157	0.0186	0.0207	0.0202	0.0218	0.0131	0.0184
Cr	0.0084	0.0104	0.0145	0.0152	0.0092	0.0111	0.0116	0.0073	0.0174	0.0228	0.0187	0.019	0.0157	0.0171
Fe <sup>3+</sup>	0.0221	0.0385	0.027	0.0337	0.0311	0.0489	0.0464	0.0531	0.0704	0.0519	0.0542	0.0555	0.0447	0.0538
Fe <sup>2+</sup>	0.2079	0.1808	0.1805	0.1314	0.179	0.1672	0.1645	0.1684	0.1339	0.1371	0.1406	0.1428	0.129	0.1474
Mn	0.0069	0.0067	0.0058	0.0046	0.0065	0.006	0.0061	0.0062	0.0054	0.0059	0.0052	0.0041	0.0047	0.0046
Ni	0.0004	0.0003	0	0	0.0001	0.0002	0	0	0.0002	0	0	0.0001	0.0002	0.0002
Mg	0.9517	0.9093	0.9024	0.9555	0.9379	0.9109	0.9062	0.9062	0.8791	0.8873	0.8713	0.8607	0.9219	0.8825
Ca	0.7601	0.7997	0.8101	0.8065	0.7965	0.8138	0.8166	0.8155	0.84	0.8092	0.8398	0.8455	0.8331	0.8331
Na	0.014	0.0155	0.0169	0.0147	0.013	0.0144	0.0165	0.0149	0.0181	0.0207	0.0177	0.0168	0.0155	0.0171
K	0	0.0007	0.0003	0.0002	0	0	0.0005	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008	0	0.0004	0.0002
Ba	0	0.0003	0.0001	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0003	0.0006	0.0001	0.0004	0.0002	0.0004	0.0003
Sr	0.0006	0.0004	0.0017	0.0003	0.001	0.0004	0.0003	0.0011	0.0001	0.0019	0.001	0.0019	0	0.0016
TOTAL	4	4	4	4	4	4	4.0001	4.0001	4.0001	4.0001	4.0001	4.0001	4.0001	4.0001
Wo	36.08	41.33	42.06	41.75	40.82	41.8	42.1	41.84	43.55	42.87	43.94	44.3	43.09	43.36
En	47.7	46.99	46.86	49.46	48.07	46.79	46.72	46.49	45.58	46.8	45.59	45.1	47.68	45.93
Fs	10.77	11.68	11.08	8.79	11.11	11.41	11.19	11.68	10.87	10.33	10.46	10.6	9.23	10.71

TABLA 3.—Composición de clinopiroxenos (representación en la figura 3a, y en el zonado centro-borde de las figuras 3b, 3c y 3d).



	ML-41	ML-42	ML-43	ML-44	ML-45	ML-46
SiO <sub>2</sub>	55	47.8	51.8	53.1	50.8	51.5
TiO <sub>2</sub>	0.851	0.756	0.756	0.943	0.771	0.787
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17	16	16.2	16.7	15.9	15.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.16	4.93	6.27	7.98	6.64	7.67
MnO	0.08	0.14	0.09	0.14	0.12	0.12
MgO	4.68	2.83	5.96	7.49	3.73	5.87
CaO	6.62	13.1	9.83	7.93	11.6	10.2
Na <sub>2</sub> O	2.22	2.01	2.08	2.4	2	2.02
K <sub>2</sub> O	2.05	2.38	1.43	1.11	1.26	1.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.12	0.12	0.15	0.13	0.12
LOI	5.31	9.93	5.31	1.62	6.54	4.39
TOTAL	99.091	99.996	99.846	99.563	99.491	99.557
mg	0.6738	0.566	0.684	0.6813	0.5613	0.6354
Li	105	51	51	18	43	31
B	21	29	44	69	52	44
Sc	31.5	28.2	29.9	26.6	27.3	27.8
V	223	172	202	197	193	174
Cr	420	410	440	360	420	400
Co	39	17	26	23	18	25
Ni	142	115	156	137	128	143
Cu	97.8	21.3	46.2	36.9	37.6	37.3
Zn	39.2	213	103	87.4	61.6	83.8
Rb	60	49	49	31	38	29
Sr	213	188	242	404	247	263
Y	11	27	20	14	27	27
Zr	110	112	104	125	111	110
Nb	3	4	3	5	3	3
Ba	417	263	269	346	238	250
La	17.6	18.5	16.1	24.8	14.2	17.3
Ce	36.1	35.7	34.7	48.9	28.6	37
Pr	4.3	3.7	4.5	4.7	3.9	4.3
Nd	17.2	16.1	18.1	20.6	17.1	17.6
Sm	4.1	3.5	3.9	3.9	3.5	2.8
Eu	1.49	1.33	1.16	1.06	1.01	1.2
Gd	3.8	3.2	3.6	3.7	3.3	3
Tb	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
Dy	3.8	3.6	3.8	3.7	3.7	4.2
Ho	0.61	0.79	0.66	0.61	0.61	0.64
Er	2.1	1.8	2.1	2	1.9	1.9
Yb	2.2	1.6	2.2	2.4	1.8	2.1
Lu	0.2	0.32	0.14	0.2	0.22	0.2
Hf	2.2	2.6	2.7	2.9	3.1	2.5
Ta	1	1	1	1	1	1
Tl	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
Th	4.5	4	4.7	5.6	4.1	4.2
U	1.5	1.3	1.5	1.6	1.4	1.2

TABLA 4.—Análisis geoquímicos

en condiciones distensivas, en la cual, en edad Autuniense o —en todo caso— pre-Trías, se emplazó la lava basáltica. La zonación gravitativa, observada en el muestreo y el estudio petrológico, sugiere un emplazamiento, casi superficial y en un régimen de flujo reducido, del magma, lo cual concuerda con la destacada granularidad

alcanzada por los ferromagnesianos y las plagioclasas, la consiguiente escasa proporción de pasta y, por último, la muy reducida orientación de los fenocristales en, al menos, las partes centrales de la lava.

La proporción de los ferromagnesianos y su valor composicional, así como los contenidos en elementos compatibles, indican que el magma emplazado presentaba una pequeña diferenciación con evidencias de una contaminación cortical (representada por los valores altos en Rb, Ba y Th).

Los datos composicionales (mineralógicos y geoquímicos) y otros de carácter regional apuntan a la génesis de un magma, posiblemente subcortical, generado durante el tránsito de la etapa compresiva a la distensiva en el tardi-hercínico de la Cadena Ibérica. El emplazamiento de este magma debió estar controlado por la fracturación y, a su vez, facilitado por los rasgos estratigráficos de las cuencas generadas en condiciones transtensionales, si consideramos el conjunto de los datos disponibles para cuencas análogas en la Cadena Ibérica s.l.

#### AGRADECIMIENTOS

A D. Vicente Gabaldón (ITGE) por las facilidades prestadas para la difusión de los datos obtenidos, en una primera etapa, por la realización de dos de los autores (Lago y Pocovi) del magmatismo calco-alcalino de la hoja 1.200.000 (Daroca). Este trabajo desarrolla objetivos previstos en el programa PB 89-0346 (DGICYT).

#### REFERENCIAS

- BASCONES, L.; MARTIN, D., y LA MONEDA, E. (1982): *Mapa geológico de España. E. 1:50.000. Hoja n.º 515 (El pobo de Dueñas)*. IGME, Madrid, 59 pp.
- DE LA PEÑA, J. A.; MARFIL, R., y RAMOS, J. L. (1979): *Desarrollo del magmatismo en el tránsito Paleozoico-Mesozoico de la Cordillera Ibérica: los basaltos de la zona de Ojos Negros (Guadalajara-Teruel)*. Estudios Geol., 35, 465-472.
- LAGO, M.; VAQUER, R., y POCOVI, A. (1987): *Comportamiento de elementos traza en el magmatismo calco-alcalino de la Cadena Ibérica*. IIº Congr. Geoquím. España (Soria). Vol. Resúmenes, 211-214.

LAGO, M., y POCOVI, A. (1991): *Magmatismo de Teruel*. En: M. Gutiérrez y A. Meléndez (Eds.): *Introducción a la Geología de la Provincia de Teruel*. Inst. Estudios Turolenses, Teruel, 85-93.

LAGO, M.; POCOVI, A.; ZACHMAN, D.; ARRANZ, E., CARLES, P.; TORRES, J. A., y VAQUER, R. (1991): *Comparación preliminar de las manifestaciones magmáticas, calco-alcalinas y stephaniense-pérmicas, de la Cadena Ibérica*. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, Vol. 16, 95-107.

LAGO, M.; ALVARO, J.; ARRANZ, E.; POCOVI, A., y VAQUER, R. (1992): *Condiciones del emplazamiento, petrología y geoquímica de las riolitas, calco-alcalinas y stephaniense-pérmicas, en las cadenas ibéricas*. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, 17, 187-198.

LAGO, M.; AUQUE, L.; ARRANZ, E.; GIL-IMAZ, A., y POCOVI, A. (1993): *Caracteres de la fosa de Bronchales (Stephaniense-Pérmico) y de la turmalinización asociada a riolitas calco-alcalinas (Provincia de Teruel)*. Cuad. Lab. Xeol. Laxe., 18, 65-81.

MUÑOZ, M.; ANCOCHEA, E.; SAGREDO, J.; DE LA PEÑA, A.; HERNAN, F.; BRANDLE, J. L., y MARFIL, R. (1985): *Vulcanismo permo-carbonífero de la Cordillera Ibérica*. C.R.Xº Congr. Int. Strat. Geol. du Carbonifère (Madrid, 1983). IGME. Vol. 3, 27-51.

NAVIDAD, M. (1983): *Vulcanismo permo-carbonífero en la Cordillera Ibérica (Rama occidental)*. Fundac. Juan March. Ser. Univer. núm. 202, 63 pp.

Original recibido: Julio de 1994.

Original aceptado: Octubre de 1994.



## INFORMACION

### Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XL Campamento para Prácticas de Geología "Pirineo Central 1994".

Por L. M.<sup>a</sup> RÍOS ARAGÜES, J. M. CHARLET y F. BODEGA BARAHONA

#### INTRODUCCION

Del 1 al 20 de julio de 1994 se desarrolló el tradicional Campamento (cf.: *Memoria del I Campamento*, J. M.<sup>a</sup> Ríos García, 1955) para Prácticas de Geología, ya en su XL versión «Pirineo Central 1994».

Desde 1989 el Campamento del Pirineo ha tomado la forma de un curso itinerante sobre el propio terreno según tres transversales (pasando respectivamente por Hecho, Bielsa y Castejón de Sos), relevándose desde las partes más externas hasta los terrenos metamórficos y graníticos del basamento hercínico en las cimas más altas de dicha cadena.

La observación de afloramientos y panorámicas, muchas veces en corte transversal, ofrece la posibilidad de explicar los fenómenos respectivos. También, durante el transcurso del Campamento se trata de ofrecer la comprensión de los elementos del conjunto de un segmento de la Cadena pirenaica en su vertiente meridional, tanto retomando ciertos aspectos teóricos como refiriéndose a las aplicaciones prácticas y consecuencias económicas en los casos oportunos.

En el año 1991 (cf.: *Memoria del XXXVII Campamento*, L. M.<sup>a</sup> Ríos Aragüés, Bol. Geol. y Min., t. 103, núm. 1) completamos el estudio para el Servicio Geológico Español (en el marco del ITGE) de 6 Hojas del Mapa Nacional 1/50.000 y partes sustanciales de otras; cubriéndose la zona central del Pirineo hasta su unión con Francia.

Sabido es que el investigador de la Geología en el campo, obtiene, a partir de sus observaciones y medidas, una concepción elaborada a través del propio criterio del observador. Esta concepción queda plasmada en cortes, columnas, cartografía geológica y Memorias explicativas, etc. En base a este conocimiento previo de la región que los propios instructores del Campamento poseemos, y para que el alumno capte esa faceta, se le invita a realizar de modo personal una serie de ejercicios en ciertos lugares o recorridos de dificultad ya calibrada.

Por motivos de trabajo los instructores J. M. Galera y D. Baretino no pudieron asistir como en años anteriores.

Este año tuvimos un tiempo excepcionalmente bueno, incluso caluroso notablemente en los recorridos por las cotas bajas de los valles, por lo que los días correspon-

dientes a etapas por las partes altas de montaña eran bien apetecidos.

El montante de gastos de este Campamento (detallados en anexo) ha sido de 2.054.496 pesetas que repartido entre los 16 alumnos inscritos conforme a las plazas previstas, resulta de 128.406 pesetas por alumno, viniendo a ser el importe de la matrícula de este año (cuota de inscripción de 54.000 pesetas) un 42 por 100 de dicha cantidad.

Por ello es esencial el apoyo por parte de la Escuela y del Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), así como de algunas empresas que, a pesar de estos tiempos de recursos precarios, vienen ayudando significativamente a esta actividad, vista con buenos ojos por parte de los alumnos.

La prestación por parte del ITGE de un vehículo todo-terreno con conductor ha sido de una importancia decisiva por las exigencias logísticas de transporte variables según los años y el número de participantes. El conductor de este año, Antonio Lara, ya veterano en las vicisitudes de antiguos campamentos, colaboró personalmente de modo eficaz.

Julián Vega Esteban, Maestro de Laboratorio, cumplió una vez más, experimentalmente, las funciones de secretariado.

Vaya nuestro cordial agradecimiento a las Entidades, Organismos y Empresas, así como a las personas que han prestado su apoyo a la realización de este Campamento.

#### DESARROLLO DEL CAMPAMENTO

Día 1. Viernes. Recepción en Hecho (Huesca).

Día 2. Primeros contactos con la montaña y aclimatación. Ida en vehículos hasta la parte alta del río Aragón Subordán. Breve recorrido a pie hasta subir a los llanos de Aguas Tuertas («Aguas Torcidas»), parte llana del valle en el Permiano rojo con meandros, aguas arriba de la cascada en el nivel de andesita hacia la base de la serie. Discordancia sobre el Paleozoico plegado en la tectónica hercínica: Culm y anticlinales en calizas basales del Carbonífero.

Vista al Cretáceo superior de las Sierras surpirenaicas y discordancia de su base sobre todos los terrenos anteriores. Selva de Oza. Almuerzo «pic-nic».

Travesía del Cretáceo de la Sierra en vehículos por la Boca del Infierno hasta salir, por el Sur, al Paleoceno calcáreo y Eoceno flysch con observación detenida de la primera megacapa y de su base de carácter olistostromico.

Día 3. Prosecución de las jornadas de iniciación con recorrido, en vehículos, de la serie hasta las margas azules de Jaca-Pamplona (canal de Berdún) y facies transicionales marino-continental tomando como ejemplo el dispositivo de desembocadura de canal deltaico cerca de Atarés, ya en el Eoceno superior.

Pasamos por Jaca y alcanzamos de nuevo la Sierra Surpirenaica al sur de los contrafuertes del macizo del Aspe y avistamos su estructuración, así como la del corte natural panorámico, por la transversal del pico Collarada, enfrente nuestro, al otro lado del valle del río Aragón.

Estudio de ejemplos de secuencias elementales de turbiditas en el flysch eoceno.

Día 4. Día de semidescanso.

Por la mañana estancia en Hecho. Entrenamiento en el manejo de los fotogramas aéreos con visión estereoscópica. Consulta de la documentación referente al área del Campamento. Instrucciones generales y recomendaciones acerca del equipamiento, tanto de trabajo como logístico.

Tarde libre y visita mayoritaria al monasterio románico de San Juan de la Peña.

Día 5. Prácticas de cartografía sobre fotogramas 1/30.000 desde un punto de panorámica sobre las Sierras de Visuarín-Bernera y sus pliegues en cascada bien visibles en los tramos calcáreos de la base del Terciario.

Día 6. Travesía desde las Sierras Marginales (Riglos) por las molasas continentales del sinclinorio oligoceno hasta los conglomerados de abanico fluvial de Peña Oroel y margas marinas de Jaca.

Por la tarde regreso a Hecho y construcción de la sección.

Día 7. Mañana. Levantamiento estructural del corte en el flysch eoceno al N de Aragüés del Puerto, en afloramiento continuo en el borde de la carretera durante más de 1.000 m. Colección de pliegues «de libro».

Tarde. Construcción del corte con la precisión adecuada a la escala adoptada para su representación. Criterios de simplificación gráfica de partes muy replegadas.

Día 8. Salida de Hecho. Breve incursión al valle de Tena. Vista del valle desde Hoz de Jaca: esquema panorámico de Sur a Norte desde las sierras cretáceas al Sur, terrenos del valle en pizarras y calizas del Devoniano y los picos por encima de los 3.000 m del macizo granítico de Panticosa. Alojamiento en Torla después de dar un vistazo a las morrenas laterales y depósitos conexos fluvio-lacustres de obturación en el valle del río Ara.

Día 9. Visita al Parque Nacional en Ordesa y ascensión hasta el mirador de Las Proas. Vista del corrimiento de la Unidad de Monte Perdido sobre la Unidad de Gavarnie y redoblamiento del conjunto.

Día diáfano. Buena ocasión para tomas de vídeo.

Traslado a Bielsa por Boltaña y el anticlinal de su nombre.

Tarde de buena luz para, desde las cercanías de Puértolas, avistar la superposición del manto del Cotiella (Punta Llerga, Peña Solana, Peña Montañesa) sobre el Eoceno inferior, Eoceno perteneciente a la continuidad de la Unidad del Monte Perdido.

Alojamiento en Bielsa.

Día 10. Domingo. Descanso a discreción.

Día 11. Visita al Parque Nacional en el Valle de Pineta. Subida al circo de La Larri.

Relaciones de superposición del manto de Monte Perdido al manto de Gavarnie, y de éste al autóctono relativo que asoma en la ventana del fondo de dicho circo.

Por la tarde. Charla breve sobre la historia y estructura del Pirineo incluidos los datos profundos e interpretación del perfil ECORS.

Día 12. Cañón de Escuin y cabecera del cañón de Añisclo. Estructuras internas al manto de Monte Perdido y criterios de antecedencia.

Día 13. Traslado a Castejón de Sos por Ainsa y remontando el río Esera por las gargantas entalladas en el potente Cretáceo de la Unidad del Cotiella y de la Unidad de Monte Perdido.

Día 14. Introducción a la Geología del Paleozoico del Valle de Benasque. Serie del Devoniano al N de Cerler. Criterios de interferencia de fases tectónicas.

Vista panorámica desde el pico de Cerler a los macizos de la Alta Cadena.

Día 15. Recorrido del río Noguera Pallaresa desde Puente Montañana hasta Pont de Suert (Bonansa). Serie fluvial del Eoceno. Areniscas litorales de Arén y serie del Cretáceo marino. Jurásico de Bonansa: dolomías oscuras cristalinas análogas a las de los yacimientos de gas de la región de Aquitania.

Por la tarde. Charla introducción al ciclo hercínico en el basamento del Pirineo Central.

Día 16. Facies deltaicas en el Eoceno del río Esera y del Isábena. De regreso, en Las Paules, ejemplo de cabeza anticlinal zambullente del tipo «Zona de Los Nogueras».

A última hora de la tarde: Breve planteamiento del ejercicio del día siguiente.

Día 17. Domingo. Levantamiento estructural por la cuerda al N del collado de Gelada y, por la tarde, construcción del corte.

Día 18. Recorrido por el Devoniano del río Isábena (serie tipo Baliera). Interferencia de pliegues a escala 1/50.000. Control de las miniestructuras en campo respectivas.

Por la tarde: conferencia introducción a la salida del día siguiente.

Día 19. Reconocimiento de las facies graníticas del macizo de La Maladeta y aureola metamórfica por su borde sur. Área del valle del río Vallibierna y lagos de su curso alto.

Día 20. Miércoles. Entrega del material, despedida, y comida final.

## Noticias

### JORNADAS SOBRE REDUCCION DE RIESGOS GEOLOGICOS EN ESPAÑA

El pasado viernes 18 de noviembre se clausuraron las Jornadas sobre Reducción de Riesgos Geológicos en España, que se iniciaron durante la mañana del día 16 en la Sede de la Real Academia de Ciencias Exactas y organizadas, tanto por esta institución como por el Instituto Tecnológico Geominero de España.

Durante tres días, en sesiones de mañana y tarde se pasó revista a los adelantos científicos y a la tecnología más avanzada para paliar los efectos económicos y la pérdida de vidas ocasionados por los desastres naturales.

En España se produce una media de 85 víctimas mortales al año y 100.000 millones de pérdidas medias anuales, de los que los dos tercios corresponden a sequía. En el mundo, 50.000 víctimas al año y unos 50.000 millones de \$ USA.

#### Un terremoto cada siglo

El riesgo sísmico en nuestro país no es tan alto como en otros estados del área mediterránea como Italia, Turquía, Grecia o Yugoslavia. Sin embargo, en España viene a presentarse un terremoto de cierta importancia cada cien años, habiéndose producido el último en 1884, con epicentro en Arenas del Rey (Granada), con el trágico balance de 900 muertos, que si bien no se parece al que asoló Messina a comienzos de siglo con 120.000 muertos, no deja de ser preocupante, teniendo en cuenta que el Mapa de Peligrosidad Sísmica del Instituto Geográfico Nacional, indica como zonas más propensas a Andalucía Oriental, Murcia, Sur de la Comunidad Valenciana y Pirineo Central, mientras que la Andalucía Occidental resultaría afectada por terremotos generados en la falla de las Azores, a los que habría que añadir el riesgo de *tsunamis*, concentrado en el Golfo de Cádiz.

#### Riesgo volcánico

Las áreas activas, de muy bajo nivel de actividad, se limitan a las Islas Canarias. Actualmente, gracias a los análisis de gases y las redes de estaciones sísmicas, se pueden predecir con cierto margen de tiempo. Sin embargo, sería deseable que se tuviese una mayor consideración de este riesgo geológico en los Planes Generales de Ordenación Urbana de los municipios situados en áreas activas.

#### Movimientos de laderas

Estos fenómenos se dan principalmente en sectores montañosos de las Cordilleras Cantábrica, Pirineos y Béticas, en ciertas zonas de la meseta y grandes valles con importante incisión fluvial, siendo menos frecuente en el tercio occidental de la Península.

Durante los últimos años, estos movimientos han causado problemas tanto por los temporales de lluvias como por las numerosas infraestructuras de transporte que se han llevado a cabo. Hoy ya se poseen ciertos criterios orientativos para el desencadenamiento meteorológico de movimientos superficiales y existen un amplio abanico de soluciones correctivas que permiten abordar numerosos problemas, pero dado su alto coste, es más razonable hacer hincapié en soluciones preventivas procurando evitar las zonas activas o susceptibles de moverse.

#### Ingeniería de costas

Las Jornadas sobre Reducción de Riesgos Geológicos en España incidieron en que el equilibrio dinámico de muchas playas y deltas de nuestro país, se ha visto alterado por la retención de sedimentos en embalses y obras marítimas, así como por la suave tendencia al ascenso del nivel del mar.

La evaluación del impacto ambiental y el diseño de medidas correctoras, deberían tener en cuenta el modelo geológico, tal y como se ha hecho en el Coto de Doñana.

#### Consecuencias

La buena labor desarrollada tanto por Protección Civil como por los medios de comunicación, han conseguido que la opinión pública haya tomado conciencia de la importancia de prevenir los riesgos geológicos. Los últimos sucesos de Cataluña, el desastre del norte de Italia y los terremotos de Filipinas o el tornado del Caribe, han contribuido a poner de actualidad la violencia de unos fenómenos que tienen origen natural, pero causan enormes pérdidas económicas en los países desarrollados por lo que corresponde a las administraciones públicas la voluntad de mitigar estos acontecimientos adoptando audaces políticas de prevención fundamentadas en avances científicos que impidan que la Naturaleza se desboque.

### VIII ASAMBLEA NACIONAL DE GEODESIA Y GEOFISICA

Organizado por la Universidad Complutense de Madrid y el Instituto Geográfico Nacional.

A celebrar en Madrid del 29 de mayo al 1 de junio de 1995 en la Facultad de Medicina (U. C. de M.), Ciudad Universitaria.

La I Asamblea de Geodesia y Geofísica tuvo lugar en Madrid, en 1973. Estas Asambleas constituyen un foco científico para la presentación de trabajos en las diversas especialidades de las ciencias Geodésicas y Geofísicas (Sismología, Geomagnetismo, Gravimetría, Volcanología, Hidrología, Oceanografía, Meteorología, Geodesia y Cartografía). Esta convocatoria constituye un evento para el intercambio de trabajos científicos de investigadores españoles y se quiere extender también a la participación de la comunidad científica portuguesa.

#### Sesiones:

Sismología, Geodesia, Geomagnetismo, Meteorología, Oceanografía, Hidrología, Volcanología, Prospección Geofísica.

#### Cuota de inscripción:

5.000 pesetas; estudiantes, 1.000 pesetas.

### CONSTITUCION DE LA COMISION GESTORA DE LA SEPGYM (SOCIEDAD ESPAÑOLA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO GEOLOGICO Y MINERO)

El pasado viernes, día 4 de noviembre, en la Fundación Gómez Pardo de Madrid, tuvo lugar una reunión de representantes de diversos relacionados con la geología, la minería y con la historia de la minería, procedentes de casi todas las comunidades del Estado español.

Entre los asistentes había representantes de las universidades (U. P. Madrid, U. P. Catalunya, U. Castilla-La Mancha, U. Córdoba, U. Murcia, U. Oviedo), instituciones públicas (Instituto Tecnológico y Geominero, Ayuntamiento de la Unión), colegios profesionales (C. Geólogos), sociedades científicas (S. Geológica de España, A.M.Y.P., G. Minera-logista de Madrid), museos y parques mineros (La Unión, Orce, Llobregat-Cardoner, El Entrego, Almadén, Escuela de Minas de Madrid, Museo Geominero), empresas mineras (Hullera Vasco-Leonesa). Otro numeroso grupo de colectivos, a pesar de no asistir a la reunión, se identificó plenamente con los objetivos, como representantes de universidades (U. Valencia, U. Barcelona), ayuntamientos (Cardona, Cercs), parques y museos (Parque Minero de Río Tinto, Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar, Parc Natural de la Garrotxa, Museo de Gavà-Minas Neolíticas de Can Tintoret).

El motivo de la reunión, no era otro que el de constituir una asociación para la defensa del riquísimo patrimonio geológico y minero de España, en donde existen antiguas explotaciones mineras con más de 5.000 años de antigüedad.

#### Resúmenes de trabajos

Los resúmenes deben ir escritos a un espacio en una hoja de tamaño DIN A4. El texto debe incluirse en un espacio máximo de 12 cm de ancho por 18 cm de largo. El título, escrito todo en mayúsculas, separado por dos espacios. Los autores y afiliación en mayúsculas y minúsculas separados por dos espacios. El texto a espacio simple. El resumen debe estar escrito con máquina de escribir eléctrica o impresora láser, tamaño mínimo 10 puntos.

A pie de página incluir la siguiente información:

- Sesión para la presentación.
- Preferencia de presentación oral o póster.
- Dirección completa del autor para correspondencia.

La fecha límite para la presentación de los trabajos será el 15 de marzo de 1995.

#### Secretaría e inscripciones

Asamblea de Geodesia y Geofísica.  
Departamento de Geofísica y Meteorología.  
Facultad de Ciencias Físicas.  
Universidad Complutense.  
28040 MADRID.

Todos los asistentes coincidieron en la necesidad de la creación de esta asociación, la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO GEOLOGICO Y MINERO, cuyos objetivos básicos habrían de ser, entre otros:

1. Velar por la defensa del patrimonio geológico y minero del estado español.
2. Elaboración de puntos de interés geológico y minero, en todo el territorio español, de interés científico, cultural y didáctico.
3. Coordinación en las tareas de promoción (y también en las de creación) de Museos Geológicos (al aire libre), Parques Geológicos, Parques Geomineros, Museos Mineros, Ecomuseos, ...
4. Coordinación en la elaboración de guías didácticas (y promoción de las mismas), en torno a los espacios de interés geológico y minero. Y en especial dentro del ámbito de las entidades mencionadas en el punto segundo.
5. Colaborar en todas estas tareas con otras sociedades y entidades relacionadas con los objetivos antes descritos.

Tras la reunión se acordó constituir una comisión gestora, encargada de poner en marcha esta asociación, y de conectar con otros colectivos relacionados con objetivos similares a los de la SEPGYM.



## Libros

### CUARTO PLAN GENERAL DE RESIDUOS RADIATIVOS

Ministerio de Industria y Energía. Formato 29,5 x 21 cm. Páginas: 50. Madrid, Diciembre 1994

En virtud de lo establecido en el Real Decreto 1522/1984 de 4 de julio por el que se autoriza la constitución de ENRESA, se ha elaborado el presente Plan General de Residuos Radiactivos (Cuarto PGRR), actualización de los anteriores, en el que se recogen las nuevas circunstancias, tanto técnicas como económicas, que afectan a la gestión de los residuos radiactivos.

Se han revisado en este documento algunas de las actuaciones y etapas que componen el proceso global de gestión de estos residuos, teniendo en cuenta la propia experiencia española y la evolución y tendencias en otros países.

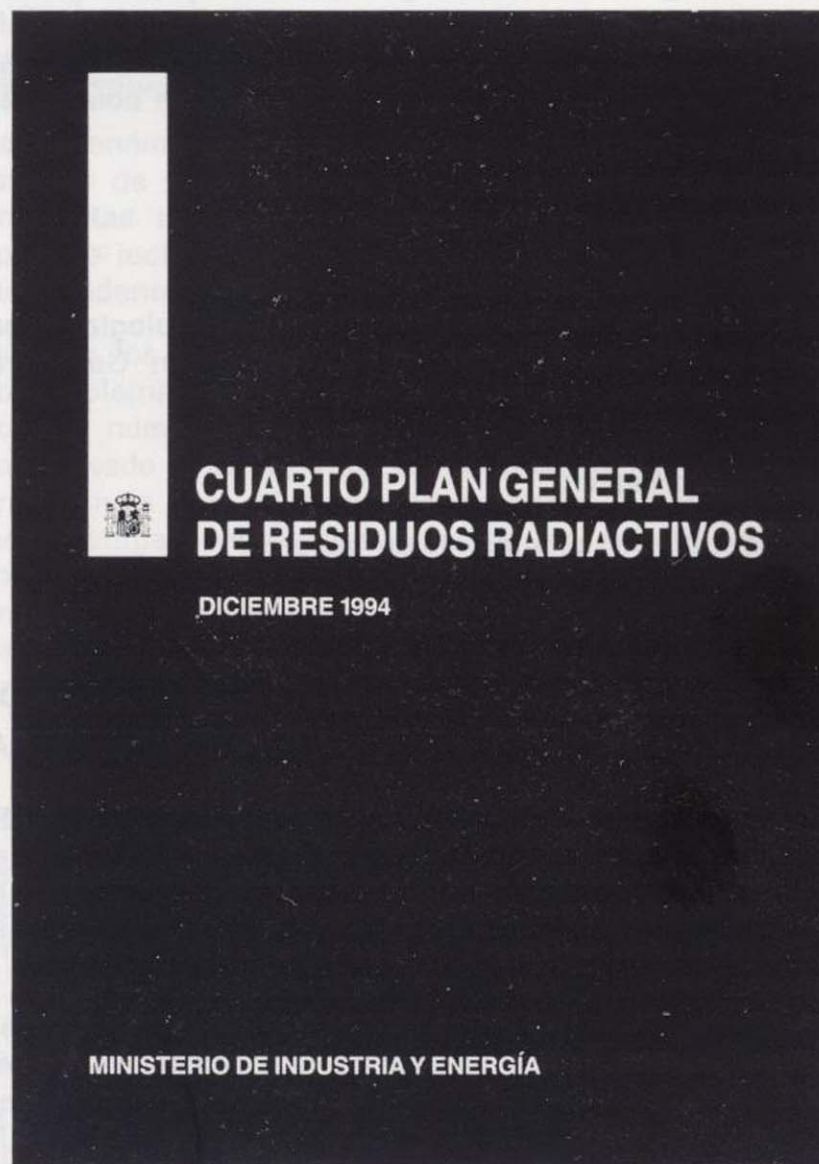
El texto de este Plan se redacta teniendo en cuenta los avances ya conseguidos en los últimos años y que son recogidos sucintamente en la introducción.

En el capítulo 2 se analiza la evolución de la gestión de los residuos radiactivos en aquellos países que han logrado avances más significativos, profundizando en los aspectos de mayor relevancia e interés.

Los capítulos 3 y 4 se refieren a la situación de la gestión en nuestro país. En primer lugar se informa sobre la generación de residuos, tanto en el pasado como las previsiones futuras, y se analiza la situación actual en las instalaciones existentes. Seguidamente se desarrollan las estrategias y actividades técnicas, diferenciándose las referentes a la gestión de residuos de baja y media actividad, las de residuos de alta actividad y las de clausura y desmantelamiento de instalaciones.

En el capítulo 5 se desarrollan los aspectos económicos y financieros de la gestión, en base a todas las actuaciones anteriores, comprendiendo la estimación de los costes futuros y el estudio de la cuota a aplicar en el año 1995 a la facturación de electricidad. Adicionalmente se comparan la previsión de costes totales y actualizados, estableciéndose los coeficientes de reparto por centrales nucleares (CC. NN.) de los ingresos vía cuota para 1995.

El capítulo 6 está dedicado al programa de I+D especialmente enfocado a la generación de conocimientos y desarrollo de tecnología en los campos del almacenamiento geológico de los residuos de alta actividad y del desmantelamiento de grandes instalaciones nucleares, por ser las dos actividades que aún están en fase de desarrollo y demostración, respectivamente. Se resumen los aspectos más destacables del «Segundo Plan de Investigación y



Desarrollo 1991-1995», elaborado por ENRESA durante el año 1991, el cual constituye una revisión global del anterior que permite reflejar con mayor fidelidad la actualidad y la previsión de su desarrollo futuro.

Se completa este Plan con tres apéndices: Uno relativo a aspectos conceptuales y criterios básicos de la gestión de residuos radiactivos (origen, tipología, objetivos de la gestión, principios de seguridad, protección radiológica y licenciamiento), que incluye conceptos en gran parte recogidos en los PGRR anteriores; un segundo apéndice dedicado, por su interés e importancia en el momento actual en todo el mundo, al tema del fraccionamiento y transmutación de residuos radiactivos; y un tercero que recoge el Glosario de términos utilizados en los diferentes textos.

L. A.



## FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Autor: Fernando Plá Ortiz de Urbina. Edita: Fundación Gómez-Pardo y ETS de Ingenieros de Minas de Madrid.  
Formato: 29,5 x 21 cm. Páginas: 383. Madrid, Octubre 1994

Esta nueva publicación de *Fundamentos de Laboreo de Minas* es un libro conceptual y aclaratorio de los principios que guían modernamente la tecnología minera, denominada desde siempre en castellano Laboreo de Minas. Corresponde básicamente a la adicción de los temas impartidos en las clases de 5.º Curso de Laboreo y de 6.º Curso de Minería a cielo abierto de la Escuela de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid, ampliados con los que antiguamente se realizaban en la Fundación Gómez Pardo para postgrado y doctorado, modernizados y puestos al día en cuanto a datos u otros aspectos más variables con el tiempo como las producciones y los costes y algunas de las conferencias o lecciones que el autor ha llevado a cabo en algunos Congresos en los que ha participado últimamente y en alguna Universidad de Verano, en la que ha dirigido algún curso sobre minería actual sobre temas de innovación y aplicaciones de nuevos procedimientos o técnicas operativas, así como de las tendencias previsibles en la minería del futuro para superar la actual situación, mucho más grave en España y en Europa que en el resto del mundo y especialmente en el caso de Iberoamérica, en donde las inversiones mineras tan espectaculares en estos momentos hacen prever un futuro muy esperanzador en este sector industrial.

El libro comienza con un amplio prólogo del autor, estructurándose en ocho bloques que abarcan los cuarenta y cinco capítulos que comprende, terminando con una extensa bibliografía. Para una mejor información del lector damos a continuación el índice resumido:

- Capítulo I. Introducción al concepto de la tecnología minera. Definición de la tecnología minera o laboreo de minas. Reseña histórica de la tecnología minera.

### Bloque primero. Definiciones

- Capítulo II. Definición de minería y mineral. Definición del mineral.
- Capítulo III. Definiciones fundamentales. Definición de mina, de mineral, marginal y estéril. El concepto de recurso y de reserva.
- Capítulo IV. La industria minera. Sus valores, producciones, precios y mercados.

### Bloque segundo. Principios de ingeniería minera

- Capítulo V. Ingeniería minera.
- Capítulo VI. Exploración y evaluación.

### Bloque tercero. Planificación minera

- Capítulo VII. Definición de una empresa y de la curva en S.
- Capítulo VIII. Modelo o esquema de una empresa.



- Capítulo IX. La planificación minera.
- Capítulo X. Las entradas y salidas (inputs y outputs).

### Bloque cuarto. Infraestructuras

- Capítulo XI. La energía en la minería.
- Capítulo XII. El agua en la minería. El agua como necesidad. El agua como problema.
- Capítulo XIII. La implantación minera. Esquemas o lay-out.
- Capítulo XIV. Clasificación de los métodos de explotación.
- Capítulo XV. Campo de aplicación de los métodos de cielo abierto.
- Capítulo XVI. Canteras de materiales de construcción.
- Capítulo XVII. Explotaciones de rocas ornamentales.



- Capítulo XVIII. Descubiertas o transferencias. El sistema de descubierta americano. El sistema alemán.
- Capítulo XIX. Las explotaciones profundas o cortas.
- Capítulo XX. Minería hidráulica.
- Capítulo XXI. Minería química o por lixiviación.
- Capítulo XXII. Minerías especiales.
- Capítulo XXIII. Los métodos de explotación subterráneos.
- Capítulo XXIV. La explotación por sondeos.

#### Bloque sexto. Los sistemas y procesos. La maquinaria minera

- Capítulo XXV. Selección de los equipos mineros.
- Capítulo XXVI. Caracterización de los macizos rocosos.
- Capítulo XXVII. El arranque por perforación y voladura.
- Capítulo XXVIII. Maquinaria o sistemas de arranque directo.
- Capítulo XXIX. Sistemas discontinuos de arranque y carga.
- Capítulo XXX. Maquinaria de transporte minero.
- Capítulo XXXI. Maquinaria auxiliar de servicios.
- Capítulo XXXII. Transporte hidráulico de minerales.

#### Bloque VI. Los servicios generales mineros

- Capítulo XXXIII. Seguridad e higiene en minería.
- Capítulo XXXIV. Salvamento y policía minera.
- Capítulo XXXV. Mantenimiento minero.

- Capítulo XXXVI. Organización del mantenimiento.
- Capítulo XXXVII. Talleres mineros.

#### Bloque séptimo. El control de costes y producciones. Economía minera

- Capítulo XXXVIII. Contextura típica de los costes en la minería.
- Capítulo XXXIX. Inversión minera. Intensidad de capital.
- Capítulo XL. Determinación de la rentabilidad de los proyectos.
- Capítulo XLI. Determinación de la capacidad de producción.
- Capítulo XLII. Determinación de los costes de producción.

#### Bloque octavo. Las innovaciones en la minería moderna.

- Capítulo XLIII. Aplicaciones de la informática en la minería.
- Capítulo XLIV. La innovación tecnológica como respuesta a los problemas de la minería.
- Capítulo XLV. Las tendencias mineras hacia el siglo XXI.
- Bibliografía,

El libro ha sido impreso mediante las nuevas técnicas de informatización de textos, figuras, fotografías y cuadros y su aparición ha coincidido con la iniciación del curso 1994-95 en el mes de octubre pasado.

Puede ser adquirido en el Servicio de Publicaciones de la Fundación Gómez Pardo en la calle Alenza, 1, Madrid 28003, teléfono (91) 441 79 21 o telefax (91) 442 95 29.

L. A.

### A LOS SUSCRIPTORES DEL BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

Con objeto de que los suscriptores puedan completar la colección de la Revista, el Boletín Geológico y Minero ofrece un descuento del 30 % sobre el precio actual de suscripción (6.000 PTA) en la adquisición de cuantos Volúmenes (años completos, 6 números) atrasados soliciten.

En las peticiones se expresará claramente los números de los volúmenes o años completos solicitados y se dirigirán a:

INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

Servicio de Publicaciones

Ríos Rosas, 23  
28003 ESPAÑA

Tfno.: 349 57 50

Fax: 349 57 62

## ULTIMAS PUBLICACIONES DEL ITGE

### CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y TEMATICA

#### HOJAS Y MEMORIAS MAGNA, ESC. 1:50.000:

81. Potes	118. Zuriza	134. Polientes
144. Ansó	176. Jaca	219. Massanet de Cabrenys
221. Port Bou	252. Tremp	255. La Pobla de Lillet
256. Ripoll	257. Olot	258. Figueres
259. Rosas	293. Berga	294. Manlleu
295. Banyoles	895. Encinasola	928. Cazorla

#### HOJAS Y MEMORIAS MAGNA, ESC. 1:50.000 (Reimpresión):

393. Mataró	893. Elche	921. Navas de la Concepción
942. Palma del Río	955. Fuente Alamo de Murcia	977. Cartagena
986. Fuentes de Andalucía	1026. Padul	1066. Coín

#### HOJAS Y MEMORIAS MAGNA, ESC. 1:200.000:

86. Cádiz	87. Algeciras
-----------	---------------

#### MAPAS GEOLOGICOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL Y ZONAS ADYACENTES, ESC. 1:200.000:

35/25 E. Figueras	72/73. Alicante
-------------------	-----------------

#### MAPAS ESC. 1:1.000.000:

- Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. Nueva edición 1994

#### MAPAS DIVERSOS:

- Mapa Geológico de la provincia de León, esc. 1:200.000.
- Mapa Guía del medio físico de la Región de Murcia, esc. 1:300.000.

### PUBLICACIONES PERIODICAS

- Panorama Minero 1992-1993.
- «Boletín Geológico y Minero», publicados los 6 números correspondientes a 1994.
- «Revista Española de Micropaleontología», publicados los 3 números correspondientes a 1994.

### PUBLICACIONES UNITARIAS

- Manual de ordenación del territorio (Serie ingeniería geoambiental).
- Manual de riesgos por explotación de capas de carbón por el método de testers. (Serie tecnología y seguridad minera).
- Manual de arranque, carga y transporte (reimpresión 1995).
- Manual de reutilización de residuos en la industria minera.



## INDICE DE MATERIAS

Tomo 105

Páginas

## GEOLOGIA

C. QUESADA, P. E. FONSECA, J. MUNHA, J. T. OLIVEIRA y A. RIBEIRO: The Beja-Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan fold belt): Geological characterization and geodynamic significance ... ..	3
R. BALCELLS, J. L. BARRERA, J. A. GOMEZ, L. A. CUETO, E. ANCOCHEA, M. J. HUERTAS, E. IBARROLA y N. SNELLING: Edades radiométricas de los edificios miocenos de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50
B. ABALOS y L. EGUILUZ: Evolución tectónica poliorogénica (cadoniense y hercínica) del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba ... ..	57
A. AZOR, F. GONZALEZ LODEIRO, L. M. MARTIN PARRA y P. VILLAR ALONSO: La estructura del sector de Buitrago-Somosierra (Sistema Central) ... ..	121
J. L. GALLARDO-MILLAN, P. HIGUERAS y J. M. MOLINA: Análisis estratigráfico de la «Cuarcita de Criadero» en el Sinclinal de Almadén ... ..	135
A. ARRIBAS: El yacimiento mesopleistoceno de Villacastín (Segovia, España): Geología y Paleontología de micromamíferos ... ..	146
J. L. ARECES, A. P. PIEREN, A. J. TORAÑO y R. RODRIGUEZ DIEZ: Nuevos datos sobre la estructura general del Carbonífero en el Horst de la Camocha (Gijón, Asturias) ... ..	167
E. GONZALEZ-CLAVIJO, W. M. ASWIN, A. FERRER y J. FERNANDEZ-GIANOTTI: Esquema estructural de un sector de la Zona Surportuguesa al este de las minas de Río Tinto ... ..	225
A. ARRIBAS HERRERA y J. BERNAD GARCIA: Catálogo de mamíferos pliocenos del yacimiento de Villarroja (La Rioja), en la colección del Museo Geominero ... ..	236
A. ARILLO: Nota sobre una larva de Odonato del Oligoceno de Izarra (Alava, España) en la colección del Museo Geominero (Odonata, Anisoptera, Libellulidae) ... ..	325
L. A. CUETO, J. L. BARRERA y J. A. GOMEZ: La Caldera de hundimiento de Vallehermoso. Isla de La Gomera (Canarias) ... ..	329
E. FLORES HURTADO: Observaciones estructurales en la unidad Pizarras y Cuarcitas devónicas del Anticlinal de Puebla de Guzmán (Huelva) ... ..	335
A. ARRIBAS: Paleontología de macromamíferos del yacimiento mesopleistoceno de Villacastín (Segovia, España) ... ..	344
J. C. FERNANDEZ CALIANI y M. L. GONZALEZ-REGALADO: La formación Pizarras de Coronada (Faja Pirítica Ibérica): Características geoquímicas, mineralógicas y bioestratigráficas ... ..	421

Páginas

P. LOPEZ GARCIA y J. A. LOPEZ-SAEZ: Contribución al conocimiento de la historia de la vegetación de Huesca: Análisis Palinológico del yacimiento de la Cueva del Moro (Olvena) ... ..	427
J. M. CORREIA ROMÃO: Litoestratigrafía e tectónica do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico (CXG)), entre o rio Ponsul e rio Erges, Beira Baixa (Portugal). ... ..	521
J. BRANDÃO, A. RIBEIRO, J. T. OLIVEIRA, J. M. PIÇARRA y A. ARAUJO: Thin skinned model for the Ossa Morena Zone ... ..	531

<b>MINERIA</b>	
A. NAVARRO, M. VILADEVALL, X. FONT y P. RODRIGUEZ: Las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería). Estudio geoquímico y modelos de yacimientos ... ..	85
E. J. GONZALEZ-CLAVIJO, C. ORTEGA, P. FLORIDO y J. LOCUTURA: El control estructural de las mineralizaciones auríferas en la zona de Pino, provincia de Zamora (España) ... ..	178
F. GOMEZ FERNANDEZ y A. ARRIBAS MORENO: Descripción de las mineralizaciones de Pb-Zn del sector sudeste de Picos de Europa (Norte de España). Implicaciones metalogenéticas ... ..	249
P. GUMIEL y D. J. SANDERSON: Nota preliminar sobre la organización fractal de varios sistemas filonianos mineralizados en Au, W y Sn del Macizo Hespérico en Extremadura (España) ... ..	263
F. COSTA, A. CAMPRUBI y J. C. MELGAREJO: Aproximación geológica a las minas neolíticas de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya) ... ..	436
A. CAMPRUBI, F. COSTA y J. C. MELGAREJO: Mineralizaciones de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya): tipología ... ..	444
R. URBANO: Exploración minera de yacimientos de oro por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) ... ..	537

## AGUAS SUBTERRANEAS

P. NIETO y Z. ALAMY: Depuración natural de aguas residuales brutas mediante su infiltración controlada. Una experiencia en marcha. Part. I. Desarrollo del proyecto. ... ..	102
J. L. ARECES, J. L. TENAJAS, A. J. TORAÑO, A. P. PIEREN, F. PENDAS y R. RODRIGUEZ DIEZ: Caracterización de los parámetros hidráulicos de la cobertera pérmica en el Horst del yacimiento carbonífero de Mina «La Camocha» ... ..	190
P. NIETO, F. BRISSAUD y V. MOTTIER: Depuración natural de ARU mediante su infiltración controlada. Un paso más. Parte II. Resultados obtenidos ... ..	272
N. EL AMRANI PAAZA, J. BENAVENTE HERRERA y J. J. CRUZ SANJULIAN: Aplicación del análisis de componentes principales al estudio de las características físico-químicas de las aguas del delta del Adra (Almería-España) ... ..	278

## Páginas

M. OLIAS, J. CRUZ SANJULIAN, J. BENAVENTE y C. ALMEIDA: Evolución hidroquímica temporal en algunos puntos de observación en el acuífero Almonte-Marismas (Huelva) ... ..	362
D. PEREZ FRANCO: El flujo no lineal hacia pozos de extracción en acuíferos de baja conductividad hidráulica ... ..	454
J. TRILLA y J. ESTALRICH: Evaluación de la fiabilidad de la gestión de un acuífero	550
J. M. MURILLO DIAZ: Efecto de la colmatación en la estimación de la vida útil de una instalación de recarga artificial ... ..	557
<b>GEOQUIMICA</b>	
P. DE LA FUENTE, E. ALONSO, M. A. QUIJANO, A. VERGARA y M. PALENZUELA: Estudio comparativo de la determinación de Al, Pb, Co y Ni en aguas residuales y naturales por AAS e ICP-AES ... ..	468
<b>GEOTECNIA</b>	
J. M. TOYOS, J. TABOADA, M. LOMBARDERO, J. A. ROMERO y A. MENENDEZ: Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental ... ..	110
V. G. RUIZ DE ARGANDOÑA, L. CALLEJA, L. M. SUAREZ DEL RIO y A. RODRIGUEZ REY: Durabilidad de rocas pizarrosas del Valle del Huerna (Asturias) ... ..	204
<b>GEOFISICA</b>	
J. L. PLATA TORRES y S. SOMOZA DIAZ-SARMIENTO: Aplicación del proceso de imágenes al análisis de datos gravimétricos ... ..	473
<b>INGENIERIA GEOAMBIENTAL</b>	
R. JIMENEZ BALLESTA, B. SANCHEZ CABRERO, R. GARCIA GIMENEZ y H. SVERDRUP: Niveles de alteración y cargas críticas de suelos sobre diferentes materiales originarios de la Comunidad de Madrid ... ..	372
M. O. GONZALEZ, J. A. BLANCO, S. MONTERRUBIO, M. YENES y C. J. MARTINEZ: Caracterización geológico-geotécnica de la Facies Entrala (Paleógeno) en los alrededores de la ciudad de Zamora ... ..	484
P. RAMIREZ OYANGUREN y R. LAIN HUERTA: Presente y futuro de las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos ... ..	566
<b>ESTUDIOS DE MINERALES Y ROCAS</b>	
J. C. FERNANDEZ CALIANI, M. MESA y E. GALAN: Características del metamorfismo de grado bajo a muy bajo en la parte meridional de la Faja Pirítica (Zona Sur Portuguesa) ... ..	213

## Páginas

A. CASTRO, I. MORENO-VENTAS y J. D. DE LA ROSA: Rocas plutónicas híbridas y mecanismos de hibridación en el Macizo Ibérico Hercínico ... ..	285
F. J. ALONSO, J. L. ARECES, J. TORAÑO, R. RODRIGUEZ, C. GROSSI y R. M. ESBERT: Descripción y cuantificación de los espacios vacíos de algunas rocas detríticas carboníferas de la mina «La Camocha» (Gijón) ... ..	306
M. P. FRANCO, A. CARNICERO, J. C. GONZALO y A. CANO-MANUEL: Asociaciones mineralógicas en los contactos mármoles-granitos en el área de Fermoselle (Domo del Tormes-Zamora) ... ..	389
J. C. GONZALO, M. LOPEZ PLAZA, A. DOMINGUEZ VADILLO y J. LOPEZ MORO: Las anatexitas del Domo del Tormes y su significado litoestratigráfico (provincia de Salamanca y Zamora) ... ..	397
M. LAGO, E. ARRANZ, A. POCOVI, R. VAQUER y A. GIL-IMAZ: Petrología y geoquímica de los basaltos calco-alcalinos, Autuniense, de Ojos Negros (Cadena Ibérica Oriental, Teruel) ... ..	591
<b>ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES</b>	
M. REGUEIRO Y GONZALEZ-BARROS y J. M.ª QUEREDA RODRIGUEZ-NAVARRO: La Piedra de Cantería en España. I ... ..	378
M. A. GARCIA DEL CURA, S. ORDOÑEZ, E. DAPENA y J. A. GONZALEZ MARTIN: Las canteras de calizas de los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: valoración de recursos ... ..	574
<b>INFORMACION</b>	
Noticias (Número 3) ... ..	318
Noticias, Necrológicas y Libros (Número 4) ... ..	412
O. PUCHE RIART, R. SERRANO VALVERDE, M.ª J. BERNARDEZ GOMEZ, J. C. GUISSARDQ DI MONTI y B. CALVO PEREZ: Análisis sobre el origen de los materiales arqueológicos del Museo Histórico Minero D. Felipe de Borbón y Grecia, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid ... ..	497
F. J. AYALA CARCEDO: La aportación científica y tecnológica de Jorge Agrícola (1494-1555) ... ..	509
Noticias (Número 5) ... ..	514
L. M. RIOS, J. M. CHARLET y F. BODEGA: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XL Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1994» ... ..	600
Noticias y libros (Número 6) ... ..	602
Indice anual de Materias ... ..	608
Indice anual de Autores ... ..	612

## INDICE DE AUTORES

Tomo 105

	Páginas
ABALOS, B. y EGUILUZ, L.: Evolución tectónica poliorogénica (cadoniense y hercínica) del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba ... ..	57
ALAMY, Z., y NIETO, P.: Depuración natural de aguas residuales brutas mediante su infiltración controlada. Una experiencia en marcha. Part. I. Desarrollo del proyecto.	102
ALMEIDA, C.; BENAVENTE, J.; CRUZ SANJULIAN, J., y OLIAS, M.: Evolución hidroquímica temporal en algunos puntos de observación en el acuífero Almonte-Marismas (Huelva) ... ..	362
ALONSO, E.; FUENTE, P. DE LA; QUIJANO, M. A.; VERGARA, A., y PALENZUELA, M.: Estudio comparativo de la determinación de Al, Pb, Co y Ni en aguas residuales y naturales por AAS e ICP-AES ... ..	463
ALONSO, J. J.; ARECES, J. L.; TORAÑO, J.; RODRIGUEZ, R.; GROSSI, C., y ESBERT, R. M.: Descripción y cuantificación de los espacios vacíos de algunas rocas detríticas carboníferas de la mina «La Camocha» (Gijón) ... ..	306
AMRANI PAAZA, N. EL; BENAVENTE HERRERA, J., y CRUZ SANJULIAN, J. J.: Aplicación del análisis de componentes principales al estudio de las características físico-químicas de las aguas del delta del Adra (Almería-España) ... ..	278
ANCOCHEA, E.; BALCELLS, R.; BARRERA, J. L.; GOMEZ, J. A.; CUETO, L. A.; HUERTAS, M. J.; IBARROLA, E., y SNELLING, N.: Edades radiométricas de los edificios miocenos de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50
ARAUJO, A.; BRANDÃO, J.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, J. T., y PIÇARRA, J. M.: Thin skinned model for the Ossa Morena Zone ... ..	531
ARECES, J. L.; PIEREN, A. P.; TORAÑO, A. J., y RODRIGUEZ DIEZ, R.: Nuevos datos sobre la estructura general del Carbonífero en el Horst de La Camocha (Gijón, Asturias) ... ..	167
ARECES, J. L.; TENAJAS, J. L.; TORAÑO, A. J.; PIEREN, A. P.; PENDAS, F., y RODRIGUEZ DIEZ, R.: Caracterización de los parámetros hidráulicos de la cobertera pérmica en el Horst del yacimiento carbonífero de Mina «La Camocha» ... ..	190
ARECES, J. L.; ALONSO, F. J.; TORAÑO, J.; RODRIGUEZ, R.; GROSSI, C., y ESBERT, R. M.: Descripción y cuantificación de los espacios vacíos de algunas rocas detríticas carboníferas de la mina «La Camocha» (Gijón) ... ..	306
ARILLO, A.: Nota sobre una larva de Odonato del Oligoceno de Izarra (Alava, España) en la colección del Museo Geominero (Odonata, Anisoptera, Libellulidae)... ..	325
ARRANZ, E.; LAGO, M.; POCOVI, A.; VAQUER, R., y GIL-IMAZ, A.: Petrología y geoquímica de los basaltos calco-alcalinios, Autuniense, de Ojos Negros (Cadena Ibérica Oriental, Teruel) ... ..	591
ARRIBAS, A.: El yacimiento mesopleistoceno de Villacastín (Segovia, España): Geología y Paleontología de micromamíferos ... ..	146

	Páginas
ARRIBAS, A.: Paleontología de macromamíferos del yacimiento mesopleistoceno de Villacastín (Segovia, España) ... ..	344
ARRIBAS HERRERA, A., y BERNAD GARCIA, J.: Catálogo de mamíferos pliocenos del yacimiento de Villarroya (La Rioja), en la colección del Museo Geominero ...	236
ARRIBAS MORENO, A., y GOMEZ FERNANDEZ, F.: Descripción de las mineralizaciones de Pb-Zn del sector sudeste de Picos de Europa (Norte de España). Implicaciones metalogenéticas ... ..	249
ASWIN, W. M.; GONZALEZ-CLAVIJO, E.; FERRER, A., y FERNANDEZ-GIANOTTI, J.: Esquema estructural de un sector de la Zona Surportuguesa al este de las minas de Río Tinto ... ..	225
AYALA CARCEDO, F. J.: La aportación científica y tecnológica de Jorge Agrícola (1494-1555) ... ..	509
AZOR, A.; GONZALEZ LODEIRO, F.; MARTIN PARRA, L. M., y VILLAR ALONSO, P.: La estructura del sector de Buitrago-Somosierra (Sistema Central) ... ..	121
BALCELLS, R.; BARRERA, J. L.; GOMEZ, J. A.; CUETO, L. A.; ANCOCHEA, E., HUERTAS, M. J.; IBARROLA, E., y SNELLING, N.: Edades radiométricas de los edificios miocenos de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50
BARRERA, J. L.; BALCELLS, R.; GOMEZ, J. A.; CUETO, L. A.; ANCOCHEA, E.; HUERTAS, M. J.; IBARROLA, E., y SNELLING, N.: Edades radiométricas de los edificios miocenos de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50
BARRERA, J. L.; CUETO, L. A., y GOMEZ, J. A.: La Caldera de hundimiento de Vallehermoso. Isla de La Gomera (Canarias) ... ..	329
BENAVENTE, J.; ALMEIDA, C.; CRUZ SANJULIAN, J., y OLIAS, M.: Evolución hidroquímica temporal en algunos puntos de observación en el acuífero Almonte-Marismas (Huelva) ... ..	362
BENAVENTE HERRERA, J.; AMRANI PAAZA, N. EL, y CRUZ SANJULIAN, J. J.: Aplicación del análisis de componentes principales al estudio de las características físico-químicas de las aguas del delta del Adra (Almería-España) ... ..	278
BERNAD GARCIA, J., y ARRIBAS, A.: Catálogo de mamíferos pliocenos del yacimiento de Villarroya (La Rioja), en la colección del Museo Geominero ... ..	236
BERNARDEZ GOMEZ, M.ª J.; PUCHE RIART, O.; SERRANO VALVERDE, R.; GUIADO DI MONTI, J. C., y CALVO PEREZ, B.: Análisis sobre el origen de los materiales arqueológicos del Museo Histórico Minero D. Felipe de Borbón y Grecia, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid ... ..	497
BLANCO, J. A.; GONZALEZ, M. O.; MONTERRUBIO, S.; YENES, M., y MARTINEZ, C. J.: Caracterización geológico-geotécnica de la Facies Entrala (Paleógeno) en los alrededores de la Ciudad de Zamora ... ..	484
BODEGA, F.; CHARLET, J. M., y RIOS, L. M.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XL Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1994» ... ..	600
BRANDÃO, J.; ARAUJO, A.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, J. T., y PIÇARRA, J. M.: Thin skinned model for the Ossa Morena Zone ... ..	531
BRISSAUD, F.; NIETO, P., y MOTTIER, V.: Depuración natural de ARU mediante su infiltración controlada. Un paso más. Parte II Resultados obtenidos ... ..	272

	Páginas
CALLEJA, L.; RUIZ DE ARGANDOÑA, V. G.; SUAREZ DEL RIO, L. M., y RODRIGUEZ REY, A.: Durabilidad de rocas pizarrosas del Valle del Huerna (Asturias) ... ..	204
CALVO PEREZ, B.; BERNARDEZ GOMEZ, M. <sup>a</sup> J.; PUCHE RIART, O.; SERRANO VALVERDE, R., y GUIADO DI MONTI, J. C.: Análisis sobre el origen de los materiales arqueológicos del Museo Histórico Minero D. Felipe de Borbón y Grecia, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid ... ..	497
CAMPRUBI, A.; COSTA, F., y MELGAREJO, J. C.: Aproximación geológica a las minas neolíticas de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya) ... ..	436
CAMPRUBI, A.; COSTA, F., y MELGAREJO, J. C.: Mineralizaciones de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya): tipología ... ..	444
CANO-MANUEL, A.; CARNICERO, A.; FRANCO, M. P., y GONZALO, J. C.: Asociaciones mineralógicas en los contactos mármoles-granitos en el área de Fermoselle (Domo del Tormes-Zamora) ... ..	389
CARNICERO, A.; CANO-MANUEL, A.; FRANCO, M. P., y GONZALO, J. C.: Asociaciones mineralógicas en los contactos mármoles-granitos en el área de Fermoselle (Domo del Tormes-Zamora) ... ..	389
CASTRO, A.; MORENO-VENTAS, I., y ROSA, J. D., DE LA: Rocas plutónicas híbridas y mecanismos de hibridación en el Macizo Ibérico Hercínico ... ..	285
CHARLET, J. M.; BODEGA, F., y RIOS, L. M.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XL Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1994» ... ..	600
CORREIA ROMÃO, J. M.: Litoestratigrafía e tectónica do Grupo das Beiras (Complexo Xisto-Grauváquico (CXG)), entre o rio Ponsul e rio Erges, Beira Baixa (Portugal). ... ..	521
COSTA, F.; CAMPRUBI, A., y MELGAREJO, J. C.: Aproximación geológica a las minas neolíticas de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya) ... ..	436
COSTA, F.; CAMPRUBI, A., y MELGAREJO, J. C.: Mineralizaciones de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya): tipología ... ..	444
CRUZ SANJULIAN, J.; BENAVENTE, J.; ALMEIDA, C., y OLIAS, M.: Evolución hidroquímica temporal en algunos puntos de observación en el acuífero Almonte-Marismas (Huelva) ... ..	362
CRUZ SANJULIAN, J. J.; BENAVENTE HERRERA, J., y AMRANI PAAZA, N. EL: Aplicación del análisis de componentes principales al estudio de las características físico-químicas de las aguas del delta del Adra (Almería - España) ... ..	278
CUETO, L. A.; BARRERA, J. L.; BALCELLS, R.; GOMEZ, J. A.; ANCOCHEA, E.; HUERTAS, M. J.; IBARROLA, E., y SNELLING, N.: Edades radiométricas de los edificios miocenos de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50
CUETO, L. A.; BARRERA, J. L., y GOMEZ, J. A.: La Caldera de hundimiento de Vallehermoso. Isla de La Gomera (Canarias) ... ..	329
DAPENA, E.; GONZALEZ MARTIN, J. A.; GARCIA DEL CURA, M. A., y ORDOÑEZ, S.: Las canteras de calizas de los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: valoración de recursos ... ..	574
DILLA SALVADOR, F., y MESA SANCHEZ, H. R.: Modelos de administración óptima del acuífero Ariguanabo ... ..	461

	Páginas
DOMINGUEZ VADILLO, A.; LOPEZ MORO, J.; LOPEZ PLAZA, M., y GONZALO, J. C.: Las anatexitas del Domo del Tormes y su significado litoestratigráfico (Provincia de Salamanca y Zamora) ... ..	397
EGUILUZ, L., y ABALOS, B.: Evolución tectónica poliorogénica (cadoniense y hercínica) del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba ... ..	57
ESBERT, R. M.; ARECES, J. L.; ALONSO, F. J.; TORAÑO, J.; RODRIGUEZ, R., y GROSSI, C.: Descripción y cuantificación de los espacios vacíos de algunas rocas detríticas carboníferas de la mina «La Camocha» (Gijón) ... ..	306-
ESTALRICH, J., y TRILLA, J.: Evaluación de la fiabilidad de la gestión de un acuífero. ... ..	550
FERNANDEZ CALIANI, J. C.; MESA, M., y GALAN, E.: Características del metamorfismo de grado bajo a muy bajo en la parte meridional de la Faja Pirítica (Zona Sur Portuguesa) ... ..	213
FERNANDEZ CALIANI, J. C., y GONZALEZ-REGALADO, M. L.: La formación Pizarras de Coronada (Faja Pirítica Ibérica): Características geoquímicas, mineralógicas y bioestratigráficas ... ..	421
FERNANDEZ-GIANOTTI, J.; FERRER, A.; ASWIN, W. M., y GONZALEZ CLAVIJO, E.: Esquema estructural de un sector de la Zona Surportuguesa del este de las minas de Río Tinto ... ..	225
FERRER, A.; FERNANDEZ-GIANOTTI, J.; ASWIN, W. M., y GONZALEZ-CLAVIJO, E.: Esquema estructural de un sector de la Zona Surportuguesa al este de las minas de Río Tinto ... ..	225
FLORES HURTADO, E.: Observaciones estructurales en la unidad Pizarras y Cuarzitas devónicas del Anticlinal de Puebla de Guzmán (Huelva) ... ..	335
FLORIDO, P.; LOCUTURA, J.; GONZALEZ-CLAVIJO, E. J., y ORTEGA, C.: El control estructural de las mineralizaciones auríferas en la zona de Pino, provincia de Zamora (España) ... ..	178
FONSECA, P. E.; MUNHA, J.; QUESADA, C.; OLIVEIRA, J. T., y RIBEIRO, A.: The Beja-Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan fold belt): Geological characterization and geodynamic significance ... ..	3
FONT, X.; NAVARRO, A.; VILADEVALL, M., y RODRIGUEZ, P.: Las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería). Estudio geoquímico y modelos de yacimientos ... ..	85
FRANCO, M. P.; CARNICERO, A.; CANO-MANUEL, A., y GONZALO, J. C.: Asociaciones mineralógicas en los contactos mármoles-granitos en el área de Fermoselle (Domo del Tormes -Zamora) ... ..	389
FUENTE, P. DE LA; ALONSO, E.; QUIJANO, M. A.; VERGARA, A., y PALENZUELA, M.: Estudio comparativo de la determinación de Al, Pb, Co y Ni en aguas residuales y naturales por AAS e ICP-AES ... ..	468
GALAN, E.; MESA, M., y FERNANDEZ CALIANI, J. C.: Características del metamorfismo de grado bajo a muy bajo en la parte meridional de la Faja Pirítica (Zona Sur Portuguesa) ... ..	213
GALLARDO-MILLAN, J. L.; HIGUERAS, P., y MOLINA, J. M.: Análisis estratigráfico de la «Cuarzita de Criadero» en el Sinclinal de Almadén ... ..	135



	Páginas
GARCIA DEL CURA, M. A.; ORDOÑEZ, S.; DAPENA, E., y GONZALEZ MARTIN, J. A.: Las canteras de calizas de los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: valoración de recursos ... ..	574
GARCIA GIMENEZ, R.; SANCHEZ CABRERO, B.; JIMENEZ BALLESTA, R., y SVERDRUP, H.: Niveles de alteración y cargas críticas de suelos sobre diferentes materiales originarios de la Comunidad de Madrid ... ..	372
GIL-IMAZ, A.; VAQUER, R.; LAGO, M.; ARRANZ, E., y POCOVI, A.: Petrología y geoquímica de los basaltos calco-alcalinos, Autuniense, de Ojos Negros (Cadena Ibérica Oriental, Teruel) ... ..	591
GOMEZ, J. A.; CUETO, L. A., y BARRERA, J. L.: LA Caldera de hundimiento de Vallehermoso. Isla de La Gomera (Canarias) ... ..	329
GOMEZ, J. A.; CUETO, L. A.; BARRERA, J. L.; BALCELLS, R.; ANCOCHEA, E.; HUERTAS, M. J.; IBARROLA, E., y SNELLING, N.: Edades radiométricas de los edificios de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50
GOMEZ FERNANDEZ, F., y ARRIBAS MORENO, A.: Descripción de las mineralizaciones de Pb-Zn del sector sudeste de Picos de Europa (Norte de España). Implicaciones metalogénicas ... ..	249
GONZALEZ, M. O.; BLANCO, J. A.; MONTERRUBIO, S.; YENES, M., y MARTINEZ, C. J.: Caracterización geológico-geotécnica de la Facies Entrala (Paleógeno) en los alrededores de la Ciudad de Zamora ... ..	484
GONZALEZ-CLAVIJO, E.; FERRER, A.; FERNANDEZ-GIANOTTI, J., y ASWIN, W. M.: Esquema estructural de un sector de la Zona Surportuguesa al este de las minas de Río Tinto ... ..	225
GONZALEZ-CLAVIJO, E. J.; FLORIDO, P.; LOCUTURA, J., y ORTEGA, C.: El control estructural de las mineralizaciones auríferas en la zona de Pino, provincia de Zamora (España) ... ..	178
GONZALEZ LODEIRO, F.; AZOR, A.; MARTIN PARRA, L. M., y VILLAR ALONSO, P.: La estructura del sector de Buitrago-Somosierra (Sistema Central) ... ..	121
GONZALEZ MARTIN, J. A.; GARCIA DEL CURA, M. A.; ORDOÑEZ, S., y DAPENA, E.: Las canteras de calizas de los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: valoración de recursos ... ..	574
GONZALEZ-REGALADO, M. L., y FERNANDEZ CALIANI, J. C.: La formación Pizarras de Coronada (Faja Pirítica Ibérica): Características geoquímicas, mineralógicas y bioestratigráficas ... ..	421
GONZALO, J. C.; FRANCO, M. P.; CARNICERO, A., y CANO-MANUEL, A.: Asociaciones mineralógicas en los contactos mármoles-granitos en el área de Fermoselle (Domo del Tormes-Zamora) ... ..	389
GONZALO, J. C.; DOMINGUEZ VADILLO, A.; LOPEZ MORO, J., y LOPEZ PLAZA, M.: Las anatexitas del Domo del Tormes y su significado litoestratigráfico (Provincia de Salamanca y Zamora) ... ..	397
GROSSI, C.; ESBERT, R. M.; ARECES, J. L.; ALONSO, F. J.; TORAÑO, J., y RODRIGUEZ, R.: Descripción y cuantificación de los espacios vacíos de algunas rocas detríticas carboníferas de la mina «La Camocha» (Gijón) ... ..	306

	Páginas
GUISADO DI MONTI, J. C.; CALVO PEREZ, B.; BERNARDEZ GOMEZ, M.ª J.; PUCHE RIART, O., y SERRANO VALVERDE, R.: Análisis sobre el origen de los materiales arqueológicos del Museo Histórico Minero D. Felipe de Borbón y Grecia, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid ... ..	497
GUMIEL, P., y SANDERSON, J.: Nota preliminar sobre la organización fractal de varios sistemas filonianos mineralizados en Au, W y Sn del Macizo Hespérico en Extremadura (España) ... ..	263
HIGUERAS, P.; GALLARDO-MILLAN, J. L., y MOLINA, J. M.: Análisis estratigráfico de la «Cuarcita de Criadero» en el Sinclinal de Almadén ... ..	135
HUERTAS, M. J.; GOMEZ, J. A.; CUETO, L. A.; BARRERA, J. L.; BALCELLS, R.; ANCOCHEA, E.; IBARROLA, E., y SNELLING, N.: Edades radiométricas de los edificios miocenos de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50
IBARROLA, E.; HUERTAS, M. J.; GOMEZ, J. A.; CUETO, L. A.; BARRERA, J. L.; BALCELLS, R.; ANCOCHEA, E., y SNELLING, N.: Edades radiométricas de los edificios miocenos de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50
JIMENEZ BALLESTA, R.; GARCIA GIMENEZ, R.; SANCHEZ CABRERO, B., y SVERDRUP, H.: Niveles de alteración y cargas críticas de suelos sobre diferentes materiales originarios de la Comunidad de Madrid ... ..	372
LAGO, M.; POCOVI, A.; GIL-IMAZ, A.; VAQUER, R., y ARRANZ, E.: Petrología y geoquímica de los basaltos calco-alcalinos, Autuniense, de Ojos Negros (Cadena Ibérica Oriental, Teruel) ... ..	591
LAIN HUERTA, R., y RAMIREZ OYANGUREN, P.: Presente y futuro de las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos ... ..	566
LOCUTURA, J.; GONZALEZ-CLAVIJO, E. J.; FLORIDO, P., y ORTEGA, C.: El control estructural de las mineralizaciones auríferas en la zona de Pino, provincia de Zamora (España) ... ..	178
LOMBARDERO, M.; MENENDEZ, A.; ROMERO, J. A.; TOYOS, J. M., y TABOADA, J.: Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental ... ..	110
LOPEZ GARCIA, P., y LOPEZ-SAEZ, J. A.: Contribución al conocimiento de la historia de la vegetación de Huesca: Análisis Palinológico del yacimiento de la Cueva del Moro (Olvena) ... ..	427
LOPEZ MORO, J.; GONZALO, J. C.; DOMINGUEZ VADILLO, A., y LOPEZ PLAZA, M.: Las anatexitas del Domo del Tormes y su significado litoestratigráfico (Prov. de Salamanca y Zamora) ... ..	397
LOPEZ PLAZA, M.; LOPEZ MORO, J.; GONZALO, J. C., y DOMINGUEZ VADILLO, A.: Las anatexitas del Domo del Tormes y su significado litoestratigráfico (Prov. de Salamanca y Zamora) ... ..	397
LOPEZ-SAEZ, J. A., y LOPEZ GARCIA, P.: Contribución al conocimiento de la historia de la vegetación de Huesca: Análisis Palinológico del yacimiento de la Cueva del Moro (Olvena) ... ..	427
MARTIN PARRA, L. M.; GONZALEZ LODEIRO, F.; AZOR, A., y VILLAR ALONSO, P.: La estructura del sector de Buitrago-Somosierra (Sistema Central) ... ..	121

	Páginas
MARTINEZ, C. J.; GONZALEZ, M. O.; BLANCO, J. A.; MONTERRUBIO, S., y YENES, M.: Caracterización geológico-geotécnica de la Facies Entrala (Paleógeno) en los alrededores de la Ciudad de Zamora ... ..	484
MELGAREJO, J. C.; CAMPRUBI, A., y COSTA, F.: Aproximación geológica a las minas neolíticas de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya) ... ..	436
MELGAREJO, J. C.; COSTA, F., y CAMPRUBI, A.: Mineralizaciones de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya): tipología ... ..	444
MENENDEZ, A.; LOMBARDEO, M.; ROMERO, J. A.; TOYOS, J. M., y TABOADA, J.: Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental ... ..	110
MESA, M.; GALAN, E., y FERNANDEZ CALIANI, J. C.: Características del metamorfismo de grado bajo a muy bajo en la parte meridional de la Faja Pirítica (Zona Sur Portuguesa) ... ..	213
MESA SANCHEZ, H. R., y DILLA SALVADOR, F.: Modelos de administración óptima del acuífero Ariguanabo ... ..	461
MOLINA, J. M.; HIGUERAS, P., y GALLARDO-MILLAN, J. L.: Análisis estratigráfico de la «Cuarcita de Criadero» en el Sinclinal de Almadén ... ..	135
MONTERRUBIO, S.; MARTINEZ, C. J.; GONZALEZ, M. O.; BLANCO, J. A., y YENES, M.: Caracterización geológico-geotécnica de la Facies Entrala (Paleógeno) en los alrededores de la Ciudad de Zamora ... ..	484
MORENO-VENTAS, I.; CASTRO, A., y ROSA, J. D., DE LA: Rocas plutónicas híbridas y mecanismos de hibridación en el Macizo Ibérico Hercínico ... ..	285
MOTTIER, V.; BRISSAUD, F., y NIETO, P.: Depuración natural de ARU mediante su infiltración controlada. Un paso más. Parte II. Resultados obtenidos ... ..	272
MUNHA, J.; FONSECA, P. E.; QUESADA, C.; OLIVEIRA, J. T., y RIBEIRO, A.: The Beja-Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan fold belt): Geological characterization and geodynamic significance ... ..	3
MURILLO DIAZ, J. M.: Efecto de la colmatación en la estimación de la vida útil de una instalación de recarga artificial ... ..	557
NAVARRO, A.; FONT, X.; VILADEVALL, M., y RODRIGUEZ, P.: Las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería). Estudio geoquímico y modelos de yacimientos ... ..	85
NIETO, P.; MOTTIER, V., y BRISSAUD, F.: Depuración natural de ARU mediante su infiltración controlada. Un paso más. Parte II. Resultados obtenidos ... ..	272
NIETO, P., y ALAMY, Z.: Depuración natural de aguas residuales brutas mediante su infiltración controlada. Una experiencia en marcha. Parte I. Desarrollo del proyecto. ... ..	102
OLIAS, M.; CRUZ, SANJULIAN, J.; BENAVENTE, J., y ALMEIDA, C.: Evolución hidroquímica temporal en algunos puntos de observación en el acuífero Almonte-Marismas (Huelva) ... ..	362
OLIVEIRA, J. T.; MUNHA, J.; FONSECA, P. E.; QUESADA, C., y RIBEIRO, A.: The Beja-Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan fold belt): Geological characterization and geodynamic significance ... ..	3
OLIVEIRA, J. T.; BRANDÃO, J.; ARAUJO, A.; RIBEIRO, A., y PIÇARRA, J. M.: Thin skinned model for the Ossa Morena Zone ... ..	531

	Páginas
ORDOÑEZ, S.; GONZALEZ MARTIN, J. A.; GARCIA DEL CURA, M. A., y DAPENA, E.: Las canteras de calizas de los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: valoración de recursos ... ..	574
ORTEGA, C.; LOCUTURA, J.; GONZALEZ-CLAVIJO, E. J., y FLORIDO, P.: El control estructural de las mineralizaciones auríferas en la zona de Pino, provincia de Zamora (España) ... ..	178
PALENZUELA, M.; FUENTE, P. DE LA; ALONSO, E.; QUIJANO, M. A., y VERGARA, A.: Estudio comparativo de la determinación de Al, Pb, Co y Ni en aguas residuales y naturales por AAS e ICP-AES ... ..	468
PENDAS, F.; ARECES, J. L.; TENAJAS, J. L.; TORAÑO, A. J.; PIEREN, A. P., y RODRIGUEZ DIEZ, R.: Caracterización de los parámetros hidráulicos de la cobertera pérmica en el Horst del yacimiento carbonífero de Mina «La Camocha» ... ..	190
PEREZ FRANCO, D.: El flujo no lineal hacia pozos de extracción en acuíferos de baja conductividad hidráulica ... ..	454
PIÇARRA, J. M.; OLIVEIRA, J. T.; BRANDÃO, J.; ARAUJO, A., y RIBEIRO, A.: Thin skinned model for the Ossa Morena Zone ... ..	531
PIEREN, A. P.; PENDAS, F.; ARECES, J. L.; TENAJAS, J. L.; TORAÑO, A. J., y RODRIGUEZ DIEZ, R.: Caracterización de los parámetros hidráulicos de la cobertera pérmica en el Horst del yacimiento carbonífero de Mina «La Camocha» ... ..	190
PIEREN, A. P.; ARECES, J. L.; TORAÑO, A. J., y RODRIGUEZ DIEZ, R.: Nuevos datos sobre la estructura general del Carbonífero en el Horst de La Camocha (Gijón, Asturias) ... ..	167
PLATA TORRES, J. L., y SOMOZA DIAZ-SARMIENTO, S.: Aplicación del proceso de imágenes al análisis de datos gravimétricos ... ..	473
POCOVI, A.; LAGO, M.; GIL-IMAZ, A.; VAQUER, R., y ARRANZ, E.: Petrología y geoquímica de los basaltos calco-alcalinos, Autuniense, de Ojos Negros (Cadena Ibérica Oriental, Teruel) ... ..	591
PUCHE RIART, O.; GUISSADO DI MONTI, J. C.; CALVO PEREZ, B.; BERNARDEZ GOMEZ, M.ª J., y SERRANO VALVERDE, R.: Análisis sobre el origen de los materiales arqueológicos del Museo Histórico Minero D. Felipe de Borbón y Grecia, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid ... ..	497
QUEREDA RODRIGUEZ-NAVARRO, J. M.ª, y REGUEIRO GONZALEZ-BARROS, M.: La Piedra de Cantería en España. I. ... ..	378
QUESADA, C.; OLIVEIRA, J. T.; MUNHA, J.; FONSECA, P. E., y RIBEIRO, A.: The Beja-Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan fold belt): Geological characterization and geodynamic significance ... ..	3
QUIJANO, M. A.; PALENZUELA, M.; FUENTE, P. DE LA; ALONSO, E., y VERGARA, A.: Estudio comparativo de la determinación de Al, Pb, Co y Ni en aguas residuales y naturales por AAS e ICP-AES ... ..	468
RAMIREZ OYANGUREN, P., y LAIN HUERTA, R.: Presente y futuro de las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos ... ..	566
REGUEIRO Y GONZALEZ-BARROS, M., y QUEREDA RODRIGUEZ-NAVARRO, J. M.ª: La Piedra de Cantería en España. I. ... ..	378

## Páginas

RIBEIRO, A.; PIÇARRA, J. M.; OLIVEIRA, J. T.; BRANDÃO, J., y ARAUJO, A.: Thin skinned model for the Ossa Morena Zone ... ..	531
RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, J. T.; QUESADA, C.; MUNHA, J., y FONSECA, P. E.: The Beja-Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan fold belt): Geological characterization and geodynamic significance ... ..	3
RIOS, L. M.; BODEGA, F., y CHARLET, J. M.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XL Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1994» ... ..	600
RODRIGUEZ, P.; NAVARRO, A.; FONT, X., y VILADEVALL, M.: Las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería). Estudio geoquímico y modelos de yacimientos ... ..	85
RODRIGUEZ, R.; GROSSI, C.; ESBERT, R. M.; ARECES, J. L.; ALONSO, F. J., y TORAÑO, J.: Descripción y cuantificación de los espacios vacíos de algunas rocas detríticas carboníferas de la mina «La Camocha» (Gijón) ... ..	306
RODRIGUEZ DIEZ, R.; PIEREN, A. P.; ARECES, J. L., y TORAÑO, A. J.: Nuevos datos sobre la estructura general del Carbonífero en el Horst de La Camocha (Gijón, Asturias) ... ..	167
RODRIGUEZ DIEZ, R.; PIEREN, A. P.; PENDAS, F.; ARECES, J. L.; TENAJAS, J. L., y TORAÑO, A. J.: Caracterización de los parámetros hidráulicos de la cobertera pérmica en el Horst del yacimiento carbonífero de Mina «La Camocha» ... ..	190
RODRIGUEZ REY, A.; CALLEJA, L.; RUIZ DE ARGANDOÑA, V. G., y SUAREZ DEL RIO, L. M.: Durabilidad de rocas pizarrosas del Valle del Huerna (Asturias) ... ..	204
ROMERO, J. A.; MENENDEZ, A.; LOMBARDEO, M.; TOYOS, J. M., y TABOADA, J.: Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental ... ..	110
ROSA, J. D., DE LA; MORENO-VENTAS, I., y CASTRO, A.: Rocas plutónicas híbridas y mecanismos de hibridación en el Macizo Ibérico Hercínico ... ..	285
RUIZ DE ARGANDOÑA, V. G.; RODRIGUEZ REY, A.; CALLEJA, L., y SUAREZ DEL RIO, L. M.: Durabilidad de rocas pizarrosas del Valle del Huerna (Asturias) ... ..	204
SANCHEZ CABRERO, B.; JIMENEZ BALLESTA, R.; GARCIA GIMENEZ, R., y SVERDRUP, H.: Niveles de alteración y cargas críticas de suelos sobre diferentes materiales originarios de la Comunidad de Madrid ... ..	372
SANDERSON, J., y GUMIEL, P.: Nota preliminar sobre la organización fractal de varios sistemas filonianos mineralizados en Au, W y Sn del Macizo Hespérico en Extremadura (España) ... ..	263
SERRANO VALVERDE, R.; PUCHE RIART, O.; GUIADO DI MONTI, J. C.; CALVO PEREZ, B., y BERNARDEZ GOMEZ, M. <sup>a</sup> J.: Análisis sobre el origen de los materiales arqueológicos del Museo Histórico Minero D. Felipe de Borbón y Grecia, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid ... ..	497
SNELLING, N.; IBARROLA, E.; HUERTAS, M. J.; GOMEZ, J. A.; CUETO, L. A.; BARRERA, J. L.; BALCELLS, R., y ANCOCHEA, E.: Edades radiométricas de los edificios miocenos de Fuerteventura (Islas Canarias) ... ..	50

## Páginas

SOMOZA DIAZ-SARMIENTO, S., y PLATA TORRES, J. L.: Aplicación del proceso de imágenes al análisis de datos gravimétricos ... ..	473
SUAREZ DEL RIO, L. M.; RODRIGUEZ REY, A.; CALLEJA, L., y RUIZ DE ARGANDOÑA, V. G.: Durabilidad de rocas pizarrosas del Valle del Huerna (Asturias) ... ..	204
SVERDRUP, H.; SANCHEZ CABRERO, B.; JIMENEZ BALLESTA, R., y GARCIA GIMENEZ, R.: Niveles de alteración y cargas críticas de suelos sobre diferentes materiales originarios de la Comunidad de Madrid ... ..	372
TABOADA, J.; ROMERO, J. A.; MENENDEZ, A.; LOMBARDEO, M., y TOYOS, J. M.: Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental ... ..	110
TENAJAS, J. L.; RODRIGUEZ DIEZ, R.; PIEREN, A. P.; PENDAS, F.; ARECES, J. L., y TORAÑO, A. J.: Caracterización de los parámetros hidráulicos de la cobertera pérmica en el Horst del yacimiento carbonífero de Mina «La Camocha» ... ..	190
TORAÑO, A. J.; RODRIGUEZ DIEZ, R.; PIEREN, A. P., y ARECES, J. L.: Nuevos datos sobre la estructura general del Carbonífero en el Horst de La Camocha (Gijón, Asturias) ... ..	167
TORAÑO, A. J.; TENAJAS, J. L.; RODRIGUEZ DIEZ, R.; PIEREN, A. P.; PENDAS, F., y ARECES, J. L.: Caracterización de los parámetros hidráulicos de la cobertera pérmica en el Horst del yacimiento carbonífero de Mina «La Camocha» ... ..	190
TORAÑO, J.; RODRIGUEZ, R.; GROSSI, C.; ESBERT, R. M.; ARECES, J. L., y ALONSO, F. J.: Descripción y cuantificación de los espacios vacíos de algunas rocas detríticas carboníferas de la mina «La Camocha» (Gijón) ... ..	306
TOYOS, J. M.; TABOADA, J.; ROMERO, J. A.; MENENDEZ, A., y LOMBARDEO, M.: Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental ... ..	110
TRILLA, J., y ESTALRICH, J.: Evaluación de la fiabilidad de la gestión de un acuífero.	550
URBANO, R.: Exploración minera de yacimientos de oro por el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) ... ..	537
VAQUER, R.; POCOVI, A.; LAGO, M.; GIL-IMAZ, A., y ARRANZ, E.: Petrología y geoquímica de los basaltos calco-alcalinos, Autuniense, de Ojos Negros (Cadena Ibérica Oriental, Teruel) ... ..	591
VERGARA, A.; QUIJANO, M. A.; PALENZUELA, M.; FUENTE, P. DE LA, y ALONSO, E.: Estudio comparativo de la determinación de Al, Pb, Co y Ni en aguas residuales y naturales por AAS e ICP-AES ... ..	468
VILADEVALL, M.; RODRIGUEZ, P.; NAVARRO, A., y FONT, X.: Las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería). Estudio geoquímico y modelos de yacimientos ... ..	85
VILLAR ALONSO, P.; MARTIN PARRA, L. M.; AZOR, A., y GONZALEZ LODEIRO, F.: La estructura del Sector de Buitrago-Somosierra (Sistema Central) ... ..	121
YENES, M.; MARTINEZ, C. J.; GONZALEZ, M. O.; BLANCO, J. A., y MONTERRUBIO, S.: Caracterización geológico-geotécnica de la Facies Entrala (Paleógeno) en los alrededores de la Ciudad de Zamora ... ..	484

# NORMAS DE PUBLICACION PARA LOS AUTORES

Los trabajos inéditos que se reciban para su publicación en el BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO serán revisados por un Comité editorial que decidirá si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

## Texto.

Se entregará paginado y mecanografiado a doble espacio por una sola cara y con amplios márgenes. Este texto se considerará definitivo, deberá venir leído por el autor y perfectamente puntuado y con las correcciones de las erratas de mecanografía que fuesen precisas. En él serán marcadas las fechas de recepción y aceptación.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, tablas y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse, si es posible. En los originales de las mismas se reseñará el título del trabajo, así como el nombre de los autores.

Todos los trabajos en lengua española 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. Al final de los mismos, y en párrafo aparte, se incluirán las palabras clave, reservándose el último lugar para la localización geográfica, si la hubiere.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original y figuras.

## Idiomas.

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España y sean de autores extranjeros.

## Referencias.

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

## Parte gráfica.

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, tablas 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.

Las figuras serán originales y nunca copiativos, delineadas con tinta china sobre papel vegetal. Las tablas, bien presentadas para su reproducción fotográfica. Las fotografías serán positivos en blanco y negro sobre papel brillo y excepcionalmente en color (positivo en brillo o transparencia).

## Pruebas.

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de diez 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 30 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

## TARJETA DE SUSCRIPCION AL BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

### Boletín Geológico y Minero

Revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas

Precio suscripción anual (6 números). Año 1995:  
6.000 ptas. Igual precio para años anteriores.

### DIRECCION Y ADMINISTRACION

Instituto Tecnológico Geominero de España

Ríos Rosas, 23 - 28003-Madrid, España

Telef./Fax (91) 349 57 62

Nombre .....

Organismo o Empresa .....

Dirección ..... Teléfono .....

Ciudad ..... C. P. ....

País ..... FIRMA

Fecha .....

## BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

### ACUSE DE RECIBO

HEMOS RECIBIDO  
WE HAVE RECEIVED  
NOUS AVONS RECU

NOS FALTA  
WE ARE IN WANT OF  
IL NOUS MANQUE

FECHA ..... FIRMA  
DATE ..... SIGNATURE

NOMBRE .....  
NAME .....  
NOM .....

DIRECCION .....  
ADDRESS .....  
ADRESSE .....

ROGAMOS DEVUELVAN ESTE ACUSE DE RECIBO, NECESARIO PARA NUESTRO CONTROL, DIRIGIDO EXCLUSIVAMENTE A AQUELLOS CENTROS QUE RECIBEN ESTA PUBLICACION CON CARACTER GRATUITO EN REGIMEN DE INTERCAMBIO.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones  
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara  
Instituto Tecnológico Geominero de España  
Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid



# Instituto Tecnológico GeoMinero de España

## Finalidad:

*Investigación, Desarrollo Tecnológico y Asistencia técnica en Geología, Minería y Disciplinas conexas*

### GEOLOGIA Y GEOFISICA



MAPA GEOLOGICO NACIONAL (MAGNA)  
ESTUDIOS GEOLOGICOS Y CARTOGRAFIA TEMATICA  
GEOFISICA Y GEOLOGIA DEL SUBSUELO  
GEOLOGIA MARINA (FONDOS MARINOS)  
TELEDETECCION APLICADA

### RECURSOS MINERALES



METALOGENIA Y CARTOGRAFIA METALOGENETICA  
GEOQUIMICA BASICA Y APLICADA  
YACIMIENTOS MINERALES  
EVALUACION DE RESERVAS E INVENTARIO DE RECURSOS

### AGUAS SUBTERRANEAS



CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA  
PROTECCION DE RECURSOS HIDROGEOLOGICOS  
EVALUACION Y CONTROL DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS  
RECURSOS GEOTERMICOS

### LABORATORIOS Y ENSAYOS



ANALISIS QUIMICOS Y MINERALOGICOS  
ENSAYOS MINERALURGICOS Y GEOTECNICOS  
CARACTERIZACION DE ROCAS MINERALES INDUSTRIALES  
SONDEOS DE INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA Y MINERA  
ENSAYOS DE BOMBEO

### INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS



FONDOS DOCUMENTALES Y BASES DE DATOS  
SISTEMAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES  
CATASTRO MINERO  
PUBLICACIONES

### INGENIERIA GEOAMBIENTAL



RIESGOS GEOLOGICOS  
RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE MINERO  
GEOTECNIA Y GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA  
MEDIO AMBIENTE Y ORDENACION DEL TERRITORIO

### DESARROLLO MINERO



PROCESOS Y TECNOLOGIAS  
SEGURIDAD MINERA  
NORMATIVA  
ESTUDIOS DE ECONOMIA MINERA

### MUSEO GEOMINERO

#### Sede Central:

c/ Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID  
Tel.: 441 65 00 – Fax: 442 62 16

#### Centro de Laboratorios:

c/ La Calera, 1 28760 TRES CANTOS (MADRID)  
Tel.: 803 22 00



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO  
SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

