

=/16 3-1

H-2

NOTAS Y COMUNICACIONES  
DEL  
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO  
DE ESPAÑA

**97-98**

MAYO-JUNIO

M A D R I D  
1 9 6 7

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

Los derechos de propiedad de los trabajos  
publicados en esta obra fueron cedidos por  
los autores al Instituto Geológico y Minero de  
España.

Queda hecho el depósito que marca la Ley

#### EXPLICACION DE LA PORTADA

Cantera de cuarcitas en esquistos muy ferruginosos al S.E. de Puentes de García Rodríguez.  
Dirección de la foto, N. 30°. Hoja 23-A-2.

(Foto J. M. López de Azcona)

Depósito Legal M. 1.882.-1968

TALLERES GRÁFICOS VDA. DE C. BERMEJO.—J. GARCÍA MORATO, 122. TEL. 233 06 19—MADRID

FELIX ARANGUREN

## REFLEXIONES SOBRE LA INDUSTRIA SIDERURGICA INTEGRAL

### 1. Características generales de la industria siderúrgica integral

La industria siderúrgica integral es una de las que más acusadamente se considera como industria básica, porque afecta prácticamente a todo el resto de las industrias del país y según sea su grado de eficacia, permite o no que las subsiguientes basadas en ella puedan o no ser competitivas.

Su impacto es por lo menos del mismo orden que la energía y los transportes, constituyendo los pilares de la economía de los países.

Como la fuerza económica y aún la militar de los países se asienta en en estos tres pilares, es evidente la importancia que tienen el que sean económicamente sanos.

Si ésto no se consigue y tenemos unas industrias básicas débiles o enfermas, sin esperanzas de fortalecerlas, habría que derivar por caminos distintos en nuestro proceso de desarrollo económico, dedicándonos a meros transformadores, si ello fuera posible.

La industria siderúrgica integral en el mundo, se caracteriza por la necesidad de ir a grandes inversiones de capital, que para que no sean prohibitivas en inversión por tonelada métrica de capacidad, hace imprescindible que se proyecten para muy fuertes tonelajes por planta, diluyendo así las inversiones generales en un tonelaje considerable.

Hoy sería poco aconsejable proyectar plantas inferiores a cuatro millones de toneladas/año, lo que lleva aparejados infinidad de problemas de espacio, comunicaciones, abastecimiento de primeras materias, de agua, de energía eléctrica, de salida de productos, de personal especializado, etc.

Pero además en la industria siderúrgica mundial se aprecian inquietantes fenómenos evolutivos, tanto en los avances tecnológicos muy acusados en los últimos años, que hacen muchas veces prescindir de instalaciones sin amortizar y seguir haciendo nuevas e importantes inversiones para mantenerse en línea competitiva, como en las consecuencias del incremento constante de países que entran en el campo siderúrgico y que, aunque en muchos casos su producción no sea competitiva internacionalmente, produce va-



riaciones en todos los países porque al ser protegida por su Gobierno deja ese país de ser comprador en el mercado internacional variando el statu quo, lo que principalmente afecta a los países tradicionalmente exportadores. Al haber en definitiva un exceso de capacidad de producción sobre la demanda, al aumentar fuertemente los costos con bajas en la producción por el fuerte impacto de las cargas fijas sobre los precios de costo, los países necesitan producir mucho para tener precios bajos, y al no poder vender todo lo que producen bajan los precios, y como consecuencia la rentabilidad de los enormes capitales implicados en el negocio siderúrgico, uno de los que trabaja con mayor coeficiente capital/cifra de ventas.

Al proyectar por tanto un negocio siderúrgico es preciso poner los cinco sentidos en hacerlo de forma que se mire al céntimo para tener el menor costo posible, porque todo puede hacer falta en la gran lucha internacional existente, y en sacar provecho a las ventajas que con respecto a otros países podemos tener.

La producción mundial de acero es del orden de 450 millones de toneladas, pero entre cuatro países y organizaciones producen (1966):

Estados Unidos .....	134 millones
Países del Mercado Común .....	86 »
Rusia .....	97 »
Japón .....	48 »
<hr/>	
<i>Total:</i> .....	365 millones
<hr/>	

Aproximadamente el 80 por 100 de la producción mundial.

Estados Unidos, primer país productor de acero, está invirtiendo en el último quinquenio cantidades de capital progresivas desde 1.500 a 2.000 millones de dólares al año, en mantener su industria en línea con los avances tecnológicos, mejorar su productividad y sus costos, sin poder por ello evitar importaciones de productos siderúrgicos acabados en tonelajes superiores a los 10 millones de toneladas/año, en cuyas importaciones Japón interviene en casi el 40 por 100.

Los países del Mercado Común, son todos ellos exportadores de acero, pero cada vez lo son con mayores dificultades y menos márgenes, habiendo sólo en 1966 un descenso del 18 por 100 en las cifras de exportación.

Creo que el panorama es lo bastante serio para que miremos con objetividad y buen sentido lo que puede hacerse en la industria siderúrgica integral nuestra, para poder tener alguna esperanza de sobrevivir en esta lucha económica planteada tan crudamente.

#### VENTAJAS E INCONVENIENTES BÁSICOS DE NUESTRA INDUSTRIA SIDERÚRGICA INTEGRAL

##### *Ventajas.*

1.<sup>ª</sup> Tenemos minerales de hierro que en general tienen más ley que los de muchos de los países siderúrgicos más importantes, algunos de los cuales, como Italia y Japón, son muy deficitarios, y otros sólo tienen minerales de baja ley.

En relación con Europa tenemos y podríamos tener en el futuro, al concentrar los minerales del NO. y del SO., una situación mucho mejor que la que tienen los países siderúrgicos europeos.

2.<sup>ª</sup> Tenemos ya un mercado propio de alguna importancia sin tener que recurrir al difícil campo de la exportación. Nuestro mercado tiene acusada tendencia expansionista para los próximos años.

3.<sup>ª</sup> Tenemos mano de obra más barata en todos los niveles que la casi totalidad de los países siderúrgicos.

4.<sup>ª</sup> Tenemos una parte importante de la hulla coquizable que necesitamos y el resto lo podemos importar en condiciones análogas a las de los demás países siderúrgicos, si tuviéramos puertos en condiciones.

##### *Inconvenientes.*

1.<sup>ª</sup> Nuestra industria siderúrgica integral, salvo la planta de Avilés, no ha sido proyectada como un conjunto, sino que ha ido creciendo a retazos, ocasionando dificultades para sus ampliaciones, y en los transportes, tanto exteriores como internos, planteando problemas muy difíciles de resolver de forma económica.

La planta de Sagunto, que en su día se proyectó como un conjunto coordinado, no ha podido modernizarse ni expansionarse por otras dificultades.

La planta que construye UNINSA será la segunda proyectada como conjunto coordinado y con previsión de futuro.

2.<sup>ª</sup> Nuestras plantas están sobre puertos que presentan dificultades de calado y de insuficiencia de equipo, siendo muy pequeñas las cifras de plancha para los barcos, tanto para carga como para descarga, y pequeño el tonelaje de los barcos nacionales.

3.<sup>ª</sup> Excepto en la planta de Vizcaya actualmente, pero no en lo futuro, los minerales de hierro están lejos de las plantas siderúrgicas, con lo que, combinando el bajo contenido en hierro de muchos minerales al estado natural con las elevadas tarifas de transporte por ferrocarril y las dificultades en los puertos, terminan anulando las ventajas iniciales de tener mejores

minerales de hierro de partida, haciendo que el costo de los 1.000 Kg. de hierro contenido en los minerales a pie de horno alto sean excesivos.

Para evitar este inconveniente grave es imprescindible la acción combinada de enriquecimiento de los minerales, reducción de tarifas ferroviarias y mejora de puertos.

4.º Las inversiones en nuestra industria siderúrgica no están siendo coordinadas. Se han hecho, y es posible se sigan haciendo inversiones parciales que en muchos casos no han hecho más que agravar el problema por disminuir todavía más la rentabilidad, al no sacar provecho a las inversiones por estar ligadas con otras instalaciones que no han seguido el mismo ritmo de modernización.

La descoordinación es todavía mayor entre distintas plantas, haciendo que las inversiones sean mayores que las necesarias o sobre equipos en los que hay ya suficiente capacidad, o dejando lagunas sin cubrir de productos que serían necesarios o convenientes.

5.º La baja rentabilidad de las empresas siderúrgicas, problema hoy día mundial, es todavía más grave en nuestro caso, originando dificultades de tesorería en las empresas, difíciles de solucionar, y haciendo prácticamente imposibles en el marco privado la financiación de las inversiones necesarias para modernizar las plantas, o para instalar otras nuevas.

6.º Como consecuencia de todas estas dificultades y para evitar consecuencias peores, se dispensa a la industria siderúrgica una protección evidente, estando libres de derechos las importaciones de mineral, de hulla coquizable y de chatarra, y teniendo en cambio una protección arancelaria considerable en los productos siderúrgicos que en muchos casos no resulta suficiente para evitar las importaciones, lo que origina nuevas dificultades.

Esta situación puede ser insostenible si se entra en el Mercado Común, dada la posición exportadora de los países que lo forman, por lo que está bien claro que la única salida viable es reducir los costos, camino duro pero el único sano y que consideramos viable si existe una cooperación inteligente entre las distintas empresas.

Teniendo en cuenta todas estas circunstancias ha parecido de interés hacer un análisis de la actual situación y de las perspectivas que se presentan en los próximos años, a base de por un lado el Programa Siderúrgico Nacional y por otro el conocimiento de lo actualmente existente en las plantas integrales y del muchas veces incompleto conocimiento de los planes de expansión que las empresas proyectan.

Para ésto un grupo de compañeros ha trabajado durante varios meses y presenta unos datos y unas observaciones discutibles y rectificables, tanto porque se demuestre contienen algunos errores o porque los datos sobre los proyectos de expansión de las empresas sean distintos de los supuestos en el estudio.

En todo caso creemos será un intento útil el tener en cifras concretas las necesidades de primeras materias en cada planta y las totales, las posibilidades de abastecimiento, las necesidades de importación, las posibilidades de coordinación en la producción de arrabio entre ENSIDESA y UNINSA.

Todos estos datos están considerados en los cuadros que a continuación presentamos.

El cuadro I contiene la capacidad de producción de acero de ENSIDESA, UNINSA y Altos Hornos entre 1969-72 y 1972-75, con las calidades de acero que cada una va a producir.

CUADRO I

Capacidades de producción de acero en ENSIDESA, UNINSA y A. H. V. (en toneladas)

	1.ª fase (1969-72)			2.ª fase (1972-75)		
	ENSIDESA	UNINSA	A. H. V.	ENSIDESA	UNINSA	A. H. V.
Siemens	1.000.000	—	—	1.000.000	—	—
L. D.	1.720.000	1.600.000	950.000	2.810.000	1.600.000	2.200.000
Bessemer	—	—	300.000	—	—	—

CUADRO II

Capacidad de H. A. disponibles  
ENSIDESA

	Sin inyección	Con inyección
<b>Hipót. 1</b>		
Producción anual de arrabio	2.870.000	3.320.000
Sinter (55 %)	1.800.000	1.800.000
Pellets (65 %)	1.450.000	1.790.000
Cribado	1.450.000	1.790.000
Mineral (50 %)	—	—
Coque	1.540.000	1.776.000
<b>Hipót. 2</b>		
Producción anual de arrabio	2.680.000	3.090.000
Sinter (55 %)	1.800.000	1.800.000
Pellets (65 %)	1.040.000	1.290.000
Cribado (65 %)	780.000	970.000
Mineral (50 %)	1.014.000	1.260.000
Coque	1.624.000	1.854.000

El cuadro II contiene la capacidad de hornos altos disponibles para distintos casos de carga, en ENSIDESA:

Uno: Con el máximo de sinter y el resto, la mitad pellets y la mitad cribado de alta ley.

Otro: Máximo de sinter y el resto formado por 40 por 100 de pellets, 30 por 100 de cribados de importación, 30 por 100 de cribados españoles.

En ambos casos se considera el funcionamiento de los hornos altos sin inyección por las toberas, o con inyección por ellas.

La capacidad de producción puede variar entre 2.680.000 Tm. y 3.320. Tm.

Todavía cabría mejorar esta cifra si todos los hornos altos funcionasen con pellets como carga única, ya que el horno núm. 3 de ARMCO, en Middletown, ha producido, en 1966, 1.128.000 Tm. de arrabio con 29' de diámetro de crisol, y aunque ésto hoy parezca utópico, si se alcanzasen los ocho millones de toneladas de pellets/año, podrían los hornos altos de ENSIDESA trabajar el 100 por 100 de pellets y producir ellos solos cuatro millones de toneladas de arrabio y sobrar todavía otros dos millones, de toneladas de pellets.

El cuadro núm. III contiene la capacidad de producción de arrabio de

CUADRO III

Capacidad de H. A. existentes  
A. H. V.

	Sin inyección	Con inyección
Hipót. 1		
Producción anual de arrabio .....	1.250.000	1.450.000
Sinter 55 .....	1.260.000	1.260.000
Pellets 65 .....	450.000	580.000
Cribado 55 .....	450.000	580.000
Mineral 50 .....	—	—
Coque... ..	735.000	696.000
Hipót. 2		
Producción anual de arrabio .....	1.140.000	1.350.000
Sinter 55 .....	1.260.000	1.260.000
Pellets 65 .....	280.000	420.000
Cribado 65 .....	210.000	315.000
Mineral 50 .....	270.000	410.000
Coque... ..	730.000	850.000

Altos Hornos de Vizcaya en la primera fase y en las mismas hipótesis, variando de 1.140.000 Tm. a 1.450.000 Tm.

El cuadro IV se refiere a la segunda fase de Altos Hornos de Vizcaya, variando la producción de 1.700.000 Tm. a 2.220.000 Tm.

CUADRO IV

Capacidad de H. A. existentes  
A. H. V.

	Sin inyección	Con inyección
Hipót. 1		
Producción anual de arrabio .....	1.905.000	2.220.000
Sinter 55 % .....	1.260.000	1.260.000
Pellets 65 % .....	930.000	1.180.000
Cribado 65 % .....	930.000	1.180.000
Mineral 50 % .....	—	—
Coque... ..	1.030.000	1.177.000
Hipót. 2		
Producción anual de arrabio .....	1.790.000	2.055.000
Sinter 55 % .....	1.260.000	1.260.000
Pellets 65 % .....	680.000	840.000
Cribado 65 % .....	510.000	630.000
Mineral 50 % .....	660.000	818.000
Coque... ..	1.088.000	1.233.000

El cuadro V contiene los consumos específicos de arrabio, chatarra y mineral en Kg./Tm. de acero.

CUADRO V

Consumos específicos de arrabio, chatarra y mineral (Kg./t. de acero)

	1		2		Mineral	
	Arrabio mínimo	Chatarra máximo	Arrabio máximo	Chatarra mínimo	máx.	min.
Siemens Martin ... ..	220	880	790	340	20	20
Convertidor L. D. ... ..	860	240	1.064	—	76	10

Con estos datos se ha podido confeccionar el cuadro VI, que contiene las necesidades de arrabio, chatarra y mineral de ENSIDESA en miles de Tm., teniendo en las dos etapas los máximos y mínimos de estos materiales, según se operen los hornos Siemens con mayor o menor proporción de chatarra.

Desde 1972 en que se alcanzaría la producción de 3.810.000 Tm. de acero, las necesidades de arrabio podrían variar entre 2.640.000 Tm. y 3.790.000 Tm., e inversamente las de chatarra de 1.550.000 Tm. a sólo 340.000 Tm.

El cuadro VII contiene los mismos datos para Altos Hornos de Vizca-

CUADRO VI

*Necesidades de arrabio, chatarra y mineral para ENSIDESA (miles de toneladas)*

	1969-1972			1972 en adelante		
	L. D.	S-M	Total	L. D.	S-M	Total
Acería .....						
Acero producido .....	1.720	1.000	2.720	2.810	1.000	3.810
Arrabio mín. ....	1.480	220	1.700	2.420	220	2.640
Arrabio máx. ....	1.830	790	2.620	3.000	790	3.790
Chatarra mín. ....	—	340	340	—	340	340
Chatarra máx. ....	410	880	1.290	670	880	1.550
Mineral máx. ....	130	20	150	214	20	234
Mineral mín. ....	17	20	37	28	20	48

CUADRO VII

*Necesidades de arrabio, chatarra y mineral para A. H. V. (miles de toneladas)*

	1969-1972		1972 en adelante	
	L. D.	Total	L. D.	Total
Acería .....				
Acero producido .....	950	950	2.200	2.200
Arrabio mín. ....	820	820	1.900	1.900
Arrabio máx. ....	1.000	1.000	2.300	2.300
Chatarra mín. ....	—	—	—	—
Chatarra máx. ....	230	230	530	530
Mineral mín. ....	72	72	167	167
Mineral máx. ....	10	10	22	22

ya, que, para una producción de 1.800.000 Tm., podrían necesitar un mínimo de 1.550.000 Tm. de arrabio y un máximo de 1.920.000 Tm.

El cuadro VIII, contiene los datos referentes a UNINSA para una producción de acero de 1.600.000 Tm., variando las necesidades de arrabio entre un máximo de 1.700.000 Tm. y 1.370.000 Tm.

CUADRO VIII

*Necesidades de arrabio, chatarra y mineral para UNINSA (miles de toneladas)*

Producción de acero .....	1.600
Arrabio mínimo .....	1.370
Arrabio máximo .....	1.700
Chatarra mínima .....	—
Chatarra máxima .....	380
Mineral mínimo .....	16
Mineral máximo .....	122

CUADRO IX

*Posibilidades de producción de arrabio en ENSIDESA y A. H. V.*

	ENSIDESA	A. H. V.	
	1. <sup>a</sup> o 2. <sup>a</sup> fase	1. <sup>a</sup> fase	2. <sup>a</sup> fase
1. <sup>a</sup> hipótesis .....	3.320.000	1.450.000	2.220.000
2. <sup>a</sup> hipótesis .....	3.090.000	1.350.000	2.055.000
3. <sup>a</sup> hipótesis .....	2.680.000	1.140.000	1.790.000

El cuadro X contiene los datos de las posibles combinaciones entre las producciones de arrabio de ENSIDESA y UNINSA.

En este cuadro se ve que, mientras ENSIDESA no produzca más de 2.700.000 Tm. de acero, puede producirse el arrabio que ella necesita y lo que necesite UNINSA para producir 1.600.000 Tm. de acero. Sólo en el caso en que la producción de arrabio de ENSIDESA no pasase de 2.680.000 Tm. entre los cuatro hornos altos sería necesario un horno alto en UNINSA.

Cuando ENSIDESA alcance la producción de 3.800.000 Tm. de acero, haría falta un horno alto en UNINSA, excepto en el caso en que la producción de arrabio de ENSIDESA se quedase en 2.680.000 Tm., único caso en que harían falta los dos hornos altos en UNINSA.

## CUADRO X

Distribución del arrabio de ENSIDESA y UNINSA para sus acerías y para moldería (miles de toneladas)

	1.ª fase (1969-1972)		2.ª fase (1972-1975)	
	ENSIDESA	UNINSA	ENSIDESA	UNINSA
Acero producido .....	2.700	1.600	3.800	1.600
Primera hipótesis:				
Arrabio producido .....	3.320	--	3.320	830
para L. D. ....	1.480	1.370	2.420	1.370
» S-M .....	250	--	210	--
» Uninsa .....	1.370	--	540	--
» moldería .....	220	150 (1)	150	350 (1)
Segunda hipótesis:				
Arrabio producido .....	3.090	--	3.090	830
para L. D. ....	1.480	1.370	2.420	1.370
» S-M .....	180	--	130	--
» Uninsa .....	1.370	--	540	--
» moldería .....	60	250 (1)	--	350 (1)
Tercera hipótesis:				
Arrabio producido .....	2.680	830	2.680	1.660
para L. D. ....	1.480	1.370	2.420	1.370
» S-M .....	480	--	200	--
» Uninsa .....	540	--	--	--
» moldería .....	180	170 (1)	60	290

Por otro lado, trabajando los hornos altos de ENSIDESA al 100 por 100 de pellets, con presión elevada e inyección por las toberas, sería alcanzable la producción de casi cuatro millones de toneladas métricas de arrabio, con lo que UNINSA no tendría necesidad de instalar hornos altos mientras no vaya a superar fuertemente la cifra de 1.600.000 Tm. de acero ahora prevista.

Este es un ejemplo de coordinación de inversiones de programas y de producciones, beneficioso para ambas empresas y para el país.

Este es sólo un caso que podría extenderse a otras empresas, otras instalaciones y otros productos.

(1) El arrabio de moldería de Uninsa se supone producido con los hornos altos existentes en Moreda y Duro Felguera.

Los cuadros XI, XII, XIII y XIV contienen los datos de producción y necesidades de materias primas entre las tres plantas consideradas y en toda España.

## CUADRO XI

Producciones y necesidades de materias primas en el periodo 1969-1972 (en miles de tons.)

	ENSIDESA	UNINSA	A. H. V.	Total
Primera hipótesis:				
Arrabio moldería .....	220	150	150	520 (3)
Arrabio afino .....	3.100	--	820 (1)	3.920
Acero .....	2.700	1.600	950 (2)	5.250
Chatarra total .....	1.260	380	230	1.870
Coque .....	1.780	--	900	2.680
Finos a sinter .....	2.000	--	1.400	3.400
Pellets .....	1.790	--	--	1.790
Cribados .....	1.790	--	--	1.790
Mineral español .....	--	--	540	540
Segunda hipótesis:				
Arrabio moldería .....	60	250	250	560 (3)
Arrabio afino .....	3.030	--	820	3.850
Acero .....	2.700	1.600	950	5.250
Chatarra total .....	1.330	380	230	1.940
Coque .....	1.855	--	980	2.835
Finos a sinter .....	2.000	--	1.400	3.400
Pellets .....	1.290	--	--	1.290
Cribados .....	970	--	--	970
Mineral español .....	1.260	--	740	2.000
Tercera hipótesis:				
Arrabio moldería .....	180	170	150	500 (3)
Arrabio afino .....	2.500	830	820	4.150
Acero .....	2.700	1.600	950	5.250
Chatarra total .....	1.020	380	230	1.630
Coque .....	1.625	445	900	2.970
Finos a sinter .....	2.000	500	1.400	3.900
Pellets .....	1.040	450	--	1.490
Cribados .....	780	450	--	1.230
Mineral español .....	1.015	--	540	1.555

CUADRO XII

Producciones y necesidades de materias primas a partir de 1972 (en miles de toneladas)

	ENSIDESA	UNINSA	A. H. V.	Total
Primera hipótesis:				
Arrabio moldería .....	150	350	320	820
Arrabio afino .....	3.170	830	1.900	5.900
Acero .....	3.800	1.600	2.200	7.600
Chatarra total .....	1.570	380	530	2.480
Coque .....	1.780	445	1.180	3.405
Finos a sinter .....	2.000	500	1.400	3.900
Pellets .....	1.790	450	1.180	3.420
Cribados .....	1.790	450	1.180	3.420
Mineral español .....	--	--	--	--
Segunda hipótesis:				
Arrabio moldería .....	--	350	150	500
Arrabio afino .....	3.040	830	1.900	5.770
Acero .....	3.800	1.600	2.200	7.600
Chatarra total .....	1.640	380	530	2.550
Coque .....	1.855	445	1.230	3.530
Finos a sinter .....	2.000	500	1.400	3.900
Pellets .....	1.290	450	840	2.580
Cribados .....	970	450	630	2.050
Mineral español .....	1.200	--	820	2.080
Tercera hipótesis:				
Arrabio moldería .....	60	290	--	350
Arrabio fino .....	2.620	1.370	1.900	5.890
Acero .....	3.800	1.600	2.200	7.600
Chatarra total .....	1.570	380	530	2.480
Coque .....	1.625	890	1.090	3.605
Finos a sinter .....	2.000	1.000	1.400	4.400
Pellets .....	1.040	900	680	2.620
Cribados .....	780	900	510	2.190
Mineral español .....	1.015	--	660	1.675

CUADRO XIII

Producciones de acero y arrabio y necesidades de mineral, chatarra y coque en España (1969-72)

	ENSIDESA	UNINSA	A. H. V.	Otros (incluido Sagunto)	Total
Acero S-M .....	1.000	--	--	350	1.350
» L. D. ....	1.720	1.600	950	--	5.270
» eléctrico .....	--	--	100	--	100
» Bessemer .....	--	--	300	--	300
Acero total .....	2.700	1.600	1.350	--	5.650
Primera hipótesis:					
Arrabio moldería .....	220	150	150	100	620
» afino .....	3.100	--	820	200	4.120
Arrabio total .....	3.320	150	970	--	4.540
Chatarra .....	1.260	380	340	--	1.980
Coque .....	1.780	150	1.200	300	3.430
Finos para sinter .....	2.000	--	1.400	175	3.575
Pellets .....	1.790	--	--	--	1.790
Cribados .....	1.790	--	--	--	1.790
Mineral español .....	--	300	1.240	480	2.020
Segunda hipótesis:					
Arrabio moldería .....	60	250	250	100	660
Arrabio afino .....	3.030	--	820	200	4.050
Arrabio total .....	3.090	250	1.070	300	4.710
Chatarra total .....	1.330	380	340	--	1.980
Coque .....	1.855	250	1.280	300	3.685
Finos a sinter .....	2.000	--	1.400	175	3.575
Pellets .....	1.290	--	--	--	1.290
Cribados .....	970	--	--	--	970
Mineral español .....	1.260	550	740	480	2.900
Tercera hipótesis:					
Arrabio moldería .....	180	170	150	100	600
Arrabio afino .....	2.500	830	820	200	4.350
Arrabio total .....	2.680	1.000	970	300	4.950
Chatarra total .....	1.020	380	340	--	1.740
Coque .....	1.625	615	1.200	300	3.740
Finos a sinter .....	2.000	500	1.400	175	4.075
Pellets .....	1.040	450	--	--	1.490
Cribados .....	780	450	--	--	1.230
Mineral español .....	1.015	340	540	480	2.375

CUADRO XIV

*Producciones de acero y arrabio y necesidades de minerales, coque y chatarra en España (1972-75) (miles de toneladas)*

	ENSIDESA	UNINSA	A. H. V.	Otros (incluido Sagunto)	Total
Acero S.M. ....	1.000	—	—	200	1.200
» L. D. ....	2.800	1.600	2.200	—	6.600
» eléctrico ....	—	—	100	2.400	2.500
Acero total ....	3.800	1.600	2.300	2.600	10.300
Primera hipótesis:					
Arrabio moldería ....	150	350	320	100	920
» afino ....	3.170	830	1.900	—	5.900
Arrabio total ....	3.220	1.180	2.220	100	6.820
Chatarra ....	1.570	380	640	2.600	5.190
Coque ....	1.780	795	1.180	100	3.855
Finos para sinter ....	2.000	500	1.400	—	3.900
Pellets ....	1.790	450	1.180	—	3.420
Cribados ....	1.790	450	1.180	—	3.420
Mineral español ....	—	800	—	250	1.050
Segunda hipótesis:					
Arrabio moldería ....	—	350	150	100	600
» afino ....	3.040	830	1.900	—	5.770
Arrabio total ....	3.040	1.180	2.050	100	6.370
Chatarra ....	1.640	380	640	2.600	5.260
Coque ....	1.855	795	1.230	100	3.980
Finos para sinter ....	2.000	500	1.400	—	3.900
Pellets ....	1.290	450	840	—	2.580
Cribados ....	970	450	630	—	2.050
Mineral español ....	1.260	700	—	250	2.210
Tercera hipótesis:					
Arrabio moldería ....	60	290	—	100	450
Arrabio fino ....	2.620	1.370	1.900	—	5.890
Arrabio total ....	2.680	1.660	1.900	100	6.340
Chatarra ....	1.570	380	640	2.600	5.190
Coque ....	1.625	1.180	1.090	100	3.995
Finos para sinter ....	2.070	1.000	1.400	—	4.400
Pellets ....	1.040	900	680	—	2.620
Cribado ....	780	900	510	—	2.190
Mineral español ....	1.015	580	660	250	2.505

De esta forma, entre las tres plantas integrales se producirá el tonelaje de acero:

ENSIDESA .....	3.810.000 Tm
UNINSA .....	1.600.000 »
A. H. V. ....	1.800.000 »
<i>Total</i> .....	<b>7.210.000 Tm</b>

Con la producción del actual Sagunto y las no integrales, principalmente de acero eléctrico, se llegaría a una producción próxima a los ocho millones de toneladas métricas para la primera fase 1972, y unos 10 millones de toneladas métricas para 1975.

Como la demanda de acero seguirá creciendo, es preciso pensar cuál debe ser el siguiente paso de ampliación más conveniente.

Teniendo en cuenta el que ENSIDESA estará prácticamente en su máxima capacidad, las dificultades para más ampliaciones en Altos Hornos de Vizcaya y el que UNINSA se proyectará previendo ampliaciones, parece lo más razonable en principio que UNINSA llegase a su máxima capacidad, unos cuatro millones de toneladas métricas, antes de iniciar la construcción de una nueva planta siderúrgica integral, lo que daría un aumento de 2.400.000 Tm, sobre la cifra anterior, llevando el total a unos 12,5 millones de toneladas métricas.

La limitación que a esta solución puede presentarse y que habría que tener muy en cuenta, es el gran tráfico que se ocasionará en los puertos de Avilés y Gijón, que podría hacerla imposible.

Habría que descargar en Gijón:

Unos 9 millones de Tm/año de minerales.

Unos 3 millones de Tm/año de hulla coquizable.

Unos 0,25 millones de Tm/año de chatarra, y

Unos 3 millones de Tm. de laminados.

Si a ésto se añade el carbón que todavía pueda cargarse en Gijón, más el tráfico de otras mercancías, unas relacionadas con la siderurgia, como refractario, ferroaleaciones, y otras con el tráfico normal de aquel puerto, habría que tener bien estudiado este aspecto tan importante, antes de tomar la decisión de la ampliación de UNINSA.

Si ésto es viable, sería la mejor solución, y habría tiempo para estudiar con todo detalle la mejor localización para una nueva planta. De no ser factible habría que apresurarse a hacer el citado estudio.

Lo dicho no es más que un resumen del trabajo realizado.

Este mismo grupo de trabajo lleva muy adelantado un estudio previo de precios de costo en distintos puertos españoles, tomando como base una misma planta y variando sólo la localización de la misma.

Ambos trabajos serán la contribución que los ingenieros de Minas hacemos con la mejor buena voluntad a la resolución de uno de los problemas más importantes y más confusos con los que el país se enfrenta.

#### CONCLUSIONES PROVISIONALES

Las conclusiones provisionales más importantes que a nuestro juicio se pueden obtener del trabajo efectuado hasta aquí son las siguientes:

a) ENSIDESA puede producir una cantidad de arrabio suficiente para cubrir las necesidades de sus dos acerías (trabajando la Siemens con un porcentaje alto en chatarra) y abastecer de este elemento a UNINSA hasta que ENSIDESA dé el último paso en producción de acero. En este caso, UNINSA habría de montar un horno alto, pero de todas formas no es necesario que UNINSA instale al principio dos hornos altos si se considera esta posibilidad de cesión de arrabio por ENSIDESA y puede dedicar en principio sus esfuerzos a la acería y laminación.

b) Durante la primera fase, hasta el año 1972 aproximadamente, A. H. V. puede producir una cantidad de arrabio superior a la que necesita para su acería LD (entre 300.000 y 600.000 Tm. de más), lo cual es totalmente anormal. Por otra parte, durante la segunda fase necesita, según nuestros cálculos e hipótesis de partida, más arrabio del que puede producir, o en el caso más favorable, una cantidad equivalente sin quedar ningún resto para moltería.

En consecuencia, convendría poner en claro las fases de producción de acero y arrabio en esta planta, así como los elementos con que va a contar para ello. También convendría aclarar las fases de producción de sinter, ya que si en 1969 puede producir 1.260 millones de toneladas, esta cantidad es excesiva para las 820.000 Tm. de arrabio que necesita en el período de 1969 a 1972. Por otra parte, en la segunda fase, esta cantidad de sinter supondrá un porcentaje muy alto de la carga de los hornos y es dudoso que con ella se pueda conseguir una producción grande en los hornos altos, caso de que se piensen montar dos de un millón de toneladas anuales cada uno, según han dicho.

c) Del cuadro XIV se deduce que la producción de acero total en España puede llegar a 10.300 millares de Tm., sin contar el que se hará en la planta de Sagunto, el cual no hemos considerado dada la incertidumbre que existe para esta planta en la segunda fase. En consecuencia, parece poderse alcanzar la producción prevista en el Plan Siderúrgico sin contar con la cuarta siderúrgica integral.

Recibido el 7-VI-67.

Enero de 1967.

JOSE MARIA LUCIA LUCIA

## SUMINISTRO DE MINERAL DE HIERRO A LA INDUSTRIA SIDERURGICA ESPAÑOLA (\*)

#### RESUMEN

En relación con el suministro de mineral de hierro a la industria siderúrgica española, se estudian los siguientes aspectos: los pelets del N. O., la investigación de nuevos criaderos y la importación de mineral.

#### I. INTRODUCCIÓN

La publicación del trabajo de los Sres. Niño de Olaiz y Kindelán titulado «El mineral de hierro y la siderurgia española», en el Boletín de Información del Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas de España, con anterioridad a su presentación en estas III Jornadas Minero-Metalúrgicas, nos ha brindado magnífica oportunidad de analizar algunas de las consecuencias de las estimaciones que allí se especifican.

El suministro de mineral de hierro a la industria siderúrgica española es, sin duda, un problema que debe preocupar hondamente al minero y al siderúrgico español, y que por desgracia ha sido analizado hasta el presente o parcialmente, o con excesivo optimismo.

Salvo detalles que no afectan ni al conjunto ni al orden de magnitud de cifras, creemos que las estimaciones que en el citado trabajo se especifican, tanto de reservas como de producciones, responden a una auténtica realidad y que no pueden calificarse de pesimistas en absoluto. Comprendemos el impacto que sin duda ha de causar la cifra indicada de 255 millones de toneladas de reservas vistas frente a los 868 millones indicados en las anteriores Jornadas, así como la necesidad de importar en el año 1972 un volumen de mineral de 4 a 8 millones de toneladas frente a la tradición exportadora española de este producto. Pero hemos de ceñirnos a los hechos reales.

Partiendo de la realidad inquietante que significan estas cifras, quisiéramos comentar brevemente algunos aspectos relacionados con la producción nacional, la investigación de nuevos criaderos y la importación de mineral.

(\*) Este artículo ha sido publicado en el número 5, volumen 3, de la «Revista de Metalurgia» (CFNIM), septiembre octubre 1967.



## 2. PRODUCCIÓN NACIONAL.

De acuerdo con el trabajo citado, las únicas zonas españolas susceptibles de aumentar la producción de mineral de hierro son el NO. y el SO.

### 2.1. Zona Noroeste

Aunque estimamos que las cifras de costo total de pelets indicadas por los Sres. Niño de Olaz y Kindelán serán, sin duda, más bajas en la realidad, es cierto que la peletización en unidades del tipo 750.000-900.000 toneladas/año en esta zona no presenta las características de un negocio de alta rentabilidad sin préstamos amortizables a largo plazo o subvenciones estatales. Es pues lógico que Coto Vivaldi, que es la única empresa de la zona que ha abordado seriamente ensayos, estudios y anteproyectos de peletización con el asesoramiento de numerosas firmas extranjeras, se resista a lanzarse a una fuerte inversión sin la garantía de un contrato a largo plazo por parte de los siderúrgicos. Estos a su vez se resisten a contratar en firme, apoyándose en las siguientes razones:

- a) Desearían realizar pruebas con tonelajes importantes de pelets.
- b) Creen que en el futuro no tendrán problemas de mineral a la vista de la proliferación de minas de ultramar.
- c) Temen que el problema del contenido de fósforo pueda crear inconvenientes y esperan una posible solución por tratamiento hidrometalúrgico del mineral.

Estamos, pues, en presencia de un círculo vicioso y de una situación que lleva varios años estancada, de la que nos tememos que si no se toman soluciones rápidas se derive un fenómeno irreversible como es el cierre de las minas de la zona.

En nuestra opinión, la única solución a este círculo vicioso radica en la creación de una empresa única que explote, concentre y peletice conjuntamente el mineral de los dos Cotos, Wagner y Vivaldi, empresa en la que deben participar los siderúrgicos, al menos los asturianos, que serían los consumidores más cercanos. De esta forma se compaginarían tanto el abaratamiento de costos, como la garantía de consumo. Exponemos a continuación las razones que apoyan estas ideas:

#### a) Minería.

— Ambas minas (Vivaldi y Wagner) explotan una misma capa y obtienen un producto similar en composición química, granulométrica y concentrabilidad. Sin embargo, los métodos de explotación son diferentes, y tanto los

servicios generales, como las instalaciones de carga sobre ferrocarril y en puerto, y las oficinas comerciales, están duplicadas.

— Dada la posición relativa de las concesiones mineras de ambas empresas con respecto a la topografía y a la posición de la capa, ocurre que Coto Wagner, que como es sabido realiza la extracción por socavones, tiene que alejarse cada vez más del ferrocarril de Renfe a medida que avanza su explotación, a menos que monte planos inclinados o pozos de extracción. Es decir, que, o aumenta la inversión, o aumenta el coste por dispersión de labores y mayor transporte.

Por su parte, Coto Vivaldi duplicaría la cantidad de mineral por metro de profundidad si pudiera explotar por debajo de Coto Wagner, allí donde ésta sólo podrá tener acceso por pozos o plano indicado.

Se trata, pues, de una situación anómala cuya reconsideración global dentro de una empresa única, daría frutos a corto plazo con repercusión automática en costos de explotación.

Por otra parte, las ventajas económicas de dirección, servicios generales, oficinas de planificación, etc., comunes, serían indudables.

Esta integración tan beneficiosa daría lugar a un costo de extracción inferior sin duda a las 100 pesetas por tonelada bruta, incluida la trituración primaria de cada grupo, y a un rendimiento total de grupo de 15 toneladas brutas por jornal.

En cuanto a la capacidad de producción, carecemos de datos fidedignos de Coto Wagner, pero vemos muy difícil que entre los dos Cotos se puedan rebasar los 2,75 millones de toneladas brutas anuales sin nuevas inversiones si no es a través de la integración propuesta.

#### b) Concentración y peletización.

Las ventajas de una planta única de concentración y peletización de 3 millones de toneladas, frente a una planta para cada uno de los Cotos, son innegables.

No sería aconsejable esta solución en el caso de peletizar mezclas de dos productos diferentes, ya que los problemas tecnológicos de la fabricación del «multipellet» son delicados. Pero en nuestro caso no existen problemas técnicos, ya que se trata de minerales similares procedentes de la misma capa y que darían lugar a concentrados idénticos (mismo tamaño y forma de las partículas, misma humedad, etc.), con idéntica aptitud para ser peletizados.

Partiendo de 3 millones de toneladas brutas anuales, se obtendrían 1,8 a 1,9 millones de toneladas de pelets al año.

Los grupos mineros suministrarían a la planta central mineral procedente de la trituración primaria en tamaños similares, de suerte que las pilas de regulación y homogeneización tuvieran dimensiones mínimas.

No entramos en el detalle del proceso de concentración y peletización

adecuado para los minerales del N. O. Indicaremos únicamente que, a nuestro juicio, debe acudir a la molinera autógena cuya viabilidad y ventajas fueron, hace tiempo, probadas a escala piloto por Coto Vivaldi.

La planta en cuestión debe localizarse en S. Miguel de las Dueñas, en las inmediaciones de la estación de Renfe. Las disponibilidades de terrenos, agua y energía eléctrica en esta zona son abundantes.

Aunque discrepamos en algunos detalles, para mantener uniformidad con respecto a las estimaciones del costo de los Sres. Niño de Olaiz y Kindelán, hemos calculado el costo de concentración y peletización que resultaría en esta planta introduciendo únicamente modificaciones en la mano de obra como consecuencia de la mayor productividad y eliminando el costo de trituración primaria que hemos supuesto incluido en el costo mina. Resulta una reducción del 10 por 100 en el costo total. Además, e independientemente de las notables mejoras en materiales, fuel y gastos generales que creemos posibles, estimamos que en la zona donde estaría ubicada la planta, gran productora de energía eléctrica, se podría obtener un costo del Kwh sensiblemente inferior a 0,75 pesetas, sobre todo si las instalaciones se proyectan para obtener un factor de potencia óptimo.

En cuanto a la inversión necesaria, no se multiplicaría por 2 sino aproximadamente por 1,7, o quizá menos, ya que hemos de tener en cuenta que la citada capacidad de 1,9 millones de toneladas de pelets es aún menor que la que se puede obtener en una única parrilla móvil (2,2 millones en Eagle Mountain, U. S. A.).

Las cifras de costo por tonelada de pelets sobre factoría siderúrgica asturiana serían, pues, las siguientes:

	Pts.	Pts.	Pts.
Mineral bruto triturado (máximo) .....	166	166	166
Concentración + Peletización .....	336	336	386
Amortización veinte años al 5 por % .....	53		
Amortización diez años sin interés .....		66	
Amortización diez años al 8 por % .....			99
Transporte .....	150	150	150
Gastos generales .....	25	25	25
Depreciación por fósforo .....	80	80	80
<b>Total precio sobre factoría .....</b>	<b>810</b>	<b>823</b>	<b>906</b>

En realidad la depreciación por fósforo debe ser menor, ya que hay que repartir el sobrecosto de fabricación de acero entre las toneladas de pelets necesarias para obtener una tonelada de acero.

Como puede apreciarse, las cifras resultantes son notablemente menos pesimistas que las citadas por los Sres. Niño de Olaiz y Kindelán. No obs-

tante, repetimos que aún pueden mejorarse notablemente, pero hemos preferido centrarnos exclusivamente en las ventajas de la integración de empresas.

No queremos pasar por alto en este capítulo el tema de la defosforación química del mineral de hierro. Somos los primeros en admitir la posibilidad de eliminar el fósforo del concentrado o preconcentrado de los minerales del Noroeste mediante tratamiento ácido. Incluso hemos investigado procedimientos a escala laboratorio y publicado los resultados. Sin embargo, creemos que los siguientes criterios deben tenerse siempre muy presentes:

— Salvo una instalación sueca de muy pequeña capacidad que obtiene un producto purísimo para usos especiales, no existe en el mundo ninguna planta industrial de este tipo.

— Debe procederse, por tanto, con gran cautela, ya que se desconocen problemas tecnológicos y económicos a escala industrial.

— Dado que en ningún caso la aportación de fósforo de los posibles pelets del Noroeste al arrabio nacional, daría lugar a doble escoriado en el convertidor LD, la cuestión del fósforo no debe ser impedimento técnico para que el proyecto del Noroeste siga adelante.

— En cualquier caso, aún con la planta central de concentración y peletización en marcha, siempre sería posible intercalar en el proceso una defosforación ácida siempre que quedase demostrada su rentabilidad y su compatibilidad con el proceso subsiguiente de peletización.

## 2.2. Zona Suroeste

El Instituto Geológico y Minero ha llevado a cabo una meritoria investigación en el S. O., habiendo obtenido resultados esperanzadores. Sin embargo, quisiéramos llamar la atención sobre el grave riesgo que puede derivarse si no se lleva a cabo la investigación con la amplitud necesaria y si, demostrada la existencia de un criadero rentable, no se ponen los medios precisos para su explotación más conveniente. Por todo ello, estimamos conveniente sugerir:

— Que se cree un equipo de investigación con una dirección única y compuesto por especialistas en geología, geofísica, minería y concentración de minerales, que recopile la información ya existente, que programe los trabajos y coordine su ejecución.

— Que se faciliten los medios para que la investigación pueda llevarse a cabo en todas sus facetas sin interrupciones, pero también sin apresuramientos.

— Que la administración arbitre la fórmula adecuada para que, en caso de demostrarse la existencia de uno o diversos criaderos interesantes, se proyecte y ponga en marcha la explotación más racional.

Comprendemos que no es tarea fácil conseguir estos objetivos, teniendo

en cuenta, sobre todo, la multitud de concesiones y permisos de investigación otorgados en la zona a diversas empresas privadas antes de la declaración de reserva, pero creemos que es necesario si queremos sacar el máximo partido de nuestros recursos naturales (1).

### 3. INVESTIGACIÓN DE NUEVOS CRIADEROS

Es indudable que queda mucho que investigar en el país todavía en relación con la posible existencia de nuevos criaderos de mineral de hierro. No somos optimistas al respecto, pero no se han agotado, ni mucho menos, las posibilidades tanto en lo que respecta a geología como a concentrabilidad.

No quisiéramos extendernos en esta cuestión, ya que, a fuerza de repetir la frase en las sucesivas Jornadas Minero-Metalúrgicas, podemos provocar la inflación del concepto «Plan Nacional de Investigación de Minerales de Hierro», pero realmente es urgente arbitrar los hombres y los medios que con un programa debidamente estudiado exploren nuevas posibilidades en el país.

Ello no sólo exige medios económicos, sino también y quizá sobre todo coordinación para evitar duplicar trabajos de empresas privadas y organismos estatales o paraestatales como, por desgracia, ocurre con frecuencia.

### 4. IMPORTACIÓN DE MINERAL

#### 4.1. Tonelaje

Partimos nuevamente de las cifras y de las premisas de partida indicadas por los Sres. Niño de Olaviz y Kindelán.

La producción estimada de mineral de hierro para 1972 es la siguiente:

#### Millones de toneladas de Fe contenido

Zona	Mínima	Media	Máxima
N. ....	0,75	0,75	0,75
NO. ....	0	1,2	1,6
E. ....	0,5	0,5	0,5
S. ....	1,1	1,1	1,1
SO. ....	0,60	0,65	1,5
<b>Total</b> .....	<b>2,95</b>	<b>4,20</b>	<b>5,45</b>

(1) Ver anexo 1.

Las necesidades de hierro contenido en mineral estimadas para las diversas factorías siderúrgicas para 1972 son las siguientes:

#### Millones de toneladas de Fe contenido

	Máximo	Mínimo	Media
ENSIDESA .....	3,9	2,7	3,30
A. H. V. ....	2,5	1,8	2,2
UNINSA .....	1,7	1,4	1,6
Diversos .....	1,0	1,0	1,00
<b>Total</b> .....	<b>9,1</b>	<b>6,9</b>	<b>8,1</b>

Tomando la cifra media de necesidades de consumo resulta el siguiente déficit:

	Millones de toneladas de Fe contenido	Millones de toneladas de mineral (68% Fe)
Con producción mínima nacional .....	5,15	8,1
Con producción media nacional .....	3,9	6,2
Con producción máxima nacional .....	2,65	4,2

Estas son, pues, las cifras mínima, media y máxima de mineral que habrá que importar a partir de 1972 y que ciertamente quedarán incrementadas si se monta en Sagunto o en cualquier otro lugar la cuarta gran factoría siderúrgica española, a menos que se descubran en el país nuevos criaderos.

Analícemos ahora sucesivamente el tipo de mineral que será necesario importar, dónde hemos de buscarlo y cómo hemos de traerlo.

#### 4.2. Calidad

Dada la producción nacional previsible de finos, del orden de 3,5 a 4 millones de toneladas anuales, que saturará la capacidad futura de sinterización cifrada por los siderúrgicos en unos 4 millones de toneladas anuales y la alta ley del mineral que se precisa, el siderúrgico español debe procurar importar o bien pelets de muy buena calidad mecánica, o bien mineral grueso con una clasificación granulométrica muy rigurosa (tipo 5-35 mm.), que no tenga que ser triturado ni cribado antes de su carga en el horno para no recargar las plantas de sinterización con los finos que se produzcan.

En el caso de importar mineral grueso, debe procurar elegir aquel que tenga mejor reductibilidad para aumentar al máximo la productividad del

horno (es decir, debe importar hematites) y que a la vez, durante su transporte y manejo en puerto, origine la formación mínima posible de finos inferiores al tamaño directamente admisible por el horno sin aglomerar

#### 4.3. Procedencia

De entre los muchos exportadores mundiales de mineral de hierro, los siderúrgicos españoles deben considerar sus necesidades de importación a la luz de los siguientes *criterios*:

a) El número de suministradores debe ser mínimo con objeto de tener la máxima regularidad en el lecho de fusión y las mínimas complicaciones en el parque de mezcla. Por tanto, deben buscarse preferentemente grandes productores que exporten gran tonelaje al año.

b) El punto de origen debe estar situado lo más cerca posible del país, con objeto de conseguir fletes mínimos.

Hemos de excluir, pues, los productores cuyos puertos de despacho no estén situados en el Océano Atlántico, es decir, los minerales indios (cuyo contenido en alúmina tampoco los haría aconsejables), los peruanos, los chilenos y los australianos, salvo condiciones excepcionales de precio durante largos periodos.

Indicamos a continuación un cuadro con los productores más importantes (capacidad de exportación de más de 2 millones de toneladas anuales en la actualidad o en proyecto) que despachan por puertos atlánticos, eliminando los que producen un mineral con menos de 60 por 100 de Fe. Para cada uno de ellos se indica puerto de embarque con capacidad de barcos, tonelaje, horario y productos vendibles.

Como puede apreciarse, no hemos incluido minas como las de Ouenza (Argelia), Manu River (Liberia), Conakry (Guinea), etc., por ser productos de ley menor de 60 por 100 Fe, y minas como la de Samitri (Brasil), etc., por exportar menos de 2 millones de toneladas.

Tampoco hemos incluido datos de Africa del Sur por carecer de información completa. Este país, que produjo 5,8 millones de toneladas en 1965, exportaría sus excedentes por Port Elizabeth, capaz para barcos de 45.000 toneladas a un ritmo de 1.350 t/hora.

Si de esta lista eliminamos los productores de mineral muy desmenuzable con muchos finos, queda un número muy limitado de suministradores que deben ser los objetivos primordiales de los siderúrgicos españoles.

Países	Región	Productores	Puerto de embarque	Barcos de hasta	Carga t/h	Productos
Canadá	Quebec, Labrador, Ontario, etc.	Diversos	Seven Islands Port Cartier	54.000 t. 100.000 t.	8000 6370	Pelets Pelets
Venezuela	Cerro Bolívar	Orinoco Mining Co.	Puerto Ordaz	60.000 t.	6000	70 % 10 mm.
Brasil	Itabira	Companhia Vale do Rio Doce	Tubarao	100.000 t.	6000	Varios productos
Angola	Cassinga	Companhia Mineira do Lobito	Saco-Moçamedes	100.000 t.	3000	Gruesos y finos a partir de 1967
Liberia	Bong Range	Bong Mining Co	Monrovia	45.000 t.	2000	Finos
Liberia	Nimba	Lamco	Lower Buchanan	60.000 t.	6000	70 % - 10 mm.
Liberia	Bomi Hill	Liberian Mining Co	Monrovia	45.000 t.	2000	Finos
Sierra Leona	Marampa	Sierra Leona Development Co.	Pepel	35.000 t.	2000	Finos
Mauritania	Fort-Gouraud	Miferma	Port-Etienne	65.000 t.	6000	Varios productos
Países escandinavos	Diversas	Diversos	Narvik Lulea Oxelösund	60.000 t. 37.000 t. 37.000 t.	6000 1000 1000	Varios productos, incluso pelets

Estos son:

- mineral grueso o pelets escandinavos, sin fósforo,
- pelets canadienses,
- gruesos de Miferma,
- gruesos de Companhia Mineira do Lobito,
- gruesos de Companhia Vale do Rio Doce.

Los productores escandinavos, cuyo tonelaje no es de esperar que aumente, tenderán lógicamente a quedarse en sus actuales clientes europeos, por lo que su adquisición nos parece muy problemática.

En cuanto a los pelets canadienses, se puede abordar su adquisición sólo en aquellos productos no controlados o comprometidos por siderúrgicos americanos y siempre que el precio sea atractivo, y el suministro regular.

Respecto de los restantes productores, los productos más recomendables para los siderúrgicos españoles son los llamados CBF («classified blast furnace ore») y los llamados «pelets naturales», y que tienen las siguientes características:

— Miferma: mineral «F'Derich» actualmente en el mercado (los restantes, Tazadit y Tazadit R. O. M., tienen muchos finos), cuya granulometría es:

12,5 a 75 mm, con 12 por 100, menor de 12,5 mm, (8 por 100 menor de 10 mm.) y 1 por 100 mayor de 75 mm.

— Cassinga (Compañía Mineira do Lobito), mineral «pebble» disponible en el mercado a partir del final de 1967. Su granulometría aproximada será:

5 a 50 mm, con 75 por 100 de 5 a 25 mm, y 5-8 por 100 menor de 5 mm.

— Itabira (Compañía Vale do Rio Doce)

a) mineral «rubble» actualmente en el mercado, cuya granulometría es:

12,5 a 75 mm, con 13 por 100 - 12,5 mm.

b) mineral «pelet natural», disponible en el mercado, probablemente en 1967/68. Su granulometría aproximada será:

6 a 25 mm, con 8 por 100 - 6 mm.

Todos los minerales citados son hematites, con 64 por 100 o más de Fe y un contenido en fósforo de 0,08 por 100 o inferior.

Como dato importante, hemos de añadir que las distancias de los puertos de embarque de estos minerales a nuestros puertos siderúrgicos oscilan entre 1.500 y 4.250 millas aproximadamente.

Fuera de los productores «atlánticos» que hemos considerado, el único mineral actual que podría competir con los citados, en análisis y granulometría sería el mineral de Hamersley, en Australia, pero su transporte puede hacerlo prohibitivo.

Ante este panorama general, surgen dos *problemas* importantes (independientemente de la cuestión precio):

a) España no tiene apenas experiencia importadora de mineral de hierro.

b) Existen en el mundo del mercado de mineral de hierro fuertes intereses creados, que hacen difícil la introducción de un cliente nuevo. A título de ejemplo indicamos que, Miferma está controlada (54 por 100) por capital siderúrgico europeo (Alemania, Francia, Gran Bretaña e Italia).

Puede argüirse que la importación futura no presentará problemas en un mercado donde predominará, sin duda, la oferta, con posible tendencia a la baja de precios (aunque creemos que será ligera), y donde son pocas las minas que han conseguido contratos a largo plazo. A nuestro juicio, este argumento carece de valor, ya que los minerales que los siderúrgicos españoles van a necesitar importar (pelets y/o mineral de alta ley, de alta reducibilidad y con una clasificación granulométrica muy estrecha para carga directa al horno), son los más codiciados del mundo en este momento.

#### 4.4 Transporte y destino

No es fácil estimar qué cantidad del tonelaje total a importar (apartado 4-1) irá destinada a cada factoría española, ya que la adquisición de mineral nacional puede variar ampliamente de unos siderúrgicos a otros. No obstante, y con objeto de partir de alguna base concreta para las consideraciones siguientes, supondremos que el tonelaje total a importar está repartido entre ENSIDESA, Altos Hornos y UNINSA, proporcionalmente a sus respectivos consumos.

Resultan, pues, los siguientes tonelajes:

	Mínimo	Medio	Máximo
ENSIDESA.....	2.000.000	2.900.000	3.800.000
A. H. V.....	1.300.000	1.900.000	2.500.000
UNINSA.....	900.000	1.400.000	1.800.000

No vamos a entrar ahora en el detalle de los puertos de recepción, de todos conocido, pero únicamente hacemos constar que, partiendo del tonelaje medio, resultan las siguientes anomalías con las condiciones actuales de los puertos de Bilbao y Gijón:

En Bilbao habría que descargar 6.350 t/día, es decir, más de 4 veces la capacidad actual.

En Gijón habría que descargar 4.700 t/día, es decir, más de 3 veces la capacidad actual.

En cambio, las instalaciones de Avilés permitirían, en principio, descargar el tonelaje previsto.

Si a esto añadimos los problemas de calado, que exigen cuantiosas inversiones para su solución, cuando ésta existe, habremos presentado todas las características de un cuello de botella bastante serio, siempre con independencia del no menos serio problema económico.

Frente a esta situación, los planes futuros de estos puertos, no muy definidos ni en proyecto ni en plazo, merecen los siguientes comentarios:

— en Avilés no podrán entrar nunca barcos mayores de 10-15.000 toneladas;

— el puerto de mejor porvenir, Gijón-Musel, con la construcción del dique Levante, es precisamente el que menos tonelaje de mineral manejará, al menos en teoría;

— es cierto, sin embargo, que gran parte del mineral con destino a ENSIDESA entraría por Gijón, pero ello sería a costa de la construcción del ramal de ferrocarril y del sobrecosto de transporte correspondiente;

— por otra parte, si el dique de Levante, con sus instalaciones, se termina después de la factoría de UNINSA, caso probable, será necesario trasladar todas las instalaciones de enlace muelle-factoría del muelle Norte al nuevo de Levante, con los problemas derivados;

— en cuanto a Bilbao, toda solución que no esté basada en la dársena de la factoría de Altos Hornos, de muy poquitas posibilidades, requerirá una descarga previa en Santurce y un transporte adicional en vagón o en gabarra;

— ni aún en el caso más optimista de Gijón, se prevé que en lo futuro puedan entrar barcos de más de 60.000 toneladas.

Frente a este panorama, francamente poco tranquilizador, tenemos ejemplos claros de las tendencias futuras en el mundo:

— Itabira traslada las instalaciones de carga del puerto de Vitoria, donde pueden entrar barcos de 40.000 toneladas, al de Tubarao, donde pueden entrar barcos de 100.000 toneladas.

— Companhia Mineira do Lobito amplía la capacidad del puerto de Saco-Moçamedes a barcos de 100.000 toneladas.

— Algunos siderúrgicos ingleses, cuyos puertos son bastante mejores que los nuestros, transbordan el mineral en Rotterdam.

Etcétera, etc.

Teniendo en cuenta todos estos factores, estimamos que sería aconsejable que los siderúrgicos españoles abordaran conjuntamente el problema, con objeto de construir, si ello es posible, una instalación única de recepción de minerales de importación en Vigo, nuestro mejor puerto natural, y concentrar los esfuerzos en los puertos de Bilbao y Gijón, en lo que a mineral se refiere, únicamente a aumentar al máximo la capacidad de descarga y no el tonelaje de los buques.

En el apartado siguiente desarrollamos en detalle esta idea.

#### 4.5. Solución Vigo

Esta solución consiste, pues, en que, previo estudio de viabilidad, tanto técnica como económica, los siderúrgicos españoles construyan en Vigo una instalación de descarga de barcos del máximo tonelaje posible que traerían el mineral de importación, junto con una instalación de carga de barcos de 10 a 20.000 toneladas que distribuirían el mineral a las diversas factorías españolas. La siderurgia española se parecería algo en este aspecto a la alemana, que ha de transbordar el mineral en Rotterdam, con la diferencia que allí es a barcazas pequeñas y aquí sería a barcos de tipo 15.000 toneladas.

Vamos a considerar las razones que apoyan esta idea, que si bien puede parecer en principio artificiosa, creemos tiene indudable interés.

##### 4.5.1. Aspecto económico.

Vamos a suponer en la instalación en cuestión un movimiento anual de 4,8 millones de toneladas, es decir, el tonelaje medio que importarían ENSIDESA y Altos Hornos en 1972. Calculemos la diferencia entre transporte directo (origen-Avilés o Bilbao) en barcos de 15-20.000 toneladas y transporte combinado (origen-Vigo y Vigo-Avilés o Bilbao) en barcos de 60.000 y 10-15.000 toneladas respectivamente (por tonelada transportada).

	Minimo	Máximo
Flete origen-Vigo (60.000 t).....	1,7 \$	3 \$
Flete Vigo-Factoría (10 + 15.000 t)....	1 \$	1,5 \$
Costo manipulación Vigo.....	0,5 \$	0,5 \$
Flete origen-Factoría (15 + 20.000 t)...	5 \$	8 \$
	Caso más barato	Caso más caro
Transporte directo.....	a=5 \$	b= 8 \$
Transporte combinado.....	c=1,7 + 1 + 0,5 =3,2 \$	d=3 + 1,5 + 0,5 =5 \$

Resulta, por tanto, que el transporte combinado saldría siempre más barato, variando la diferencia entre 0 y 4,8 dólares por tonelada. Suponiendo una diferencia media de 2 dólares por tonelada, resulta un ahorro de 9,6 millones de dólares anuales.

Por otra parte, hemos supuesto un costo de manipulación en Vigo de 30 pesetas, que se descompondría aproximadamente en 20 pesetas para costo de explotación y 10 pesetas para amortización, que, con 4,8 millones de toneladas anuales, permiten amortizar al 8 por 100 192 millones de pesetas en 5 años, 320 millones en 10 años, o 471 millones en 20 años.

En resumen, resulta que aún en el caso de sólo mover 4,8 millones de toneladas con barcos de 60.000 toneladas, se ahorrarían 9,6 millones de dólares anuales y buena parte de las inversiones específicas para mineral en el puerto de Bilbao. Si ahora añadimos el mineral que iría a Gijón y, previendo posibles aumentos futuros, suponemos que se manejan 10 millones de toneladas anuales, el ahorro ascendería a 20 millones de dólares al año, además posiblemente del que supondría la construcción íntegra del dique de Levante. Si el transporte se hiciera en barcos de 100.000 toneladas, las cifras serían aún mayores.

Es cierto que las consideraciones económicas expuestas constituyen un mero tanteo inicial y que existen innumerables factores adicionales que deben añadirse, si se estima conveniente un estudio detenido de esta solución, tales como determinación más exacta de fletes previsible, tonelaje previsible para los barcos de distribución, comparación de costos de transporte para el mineral con destino a ENSIDESA según se transborde en Gijón con barcos de 50-60.000 toneladas o en Vigo con barcos de 80-100.000 toneladas, etc., pero creemos que las cifras indicadas deben hacer meditar a los siderúrgicos españoles y a la administración, sobre todo, si al tonelaje de mineral se añade también el correspondiente al carbón de importación, y que aquí soslayamos.

Desconocemos el interés que, aparte de las materias primas siderúrgicas, tiene la construcción del dique de Levante del Musel, pero nos permitimos sugerir que se reconsidere su conveniencia a la luz de estas ideas, previo estudio económico detenido de la citada solución.

#### 4.5.2. Aspecto técnico.

Sería necesario un calado de unos 50 pies en la zona de descarga para permitir la entrada de barcos de hasta 100.000 toneladas. Suponiendo que se descargase allí el tonelaje máximo, y teniendo en cuenta posibles aumentos futuros, habría que prever una capacidad de unos 10 millones de t/año, lo que exigiría una capacidad de carga y descarga de unas 34.000 t/día. Esta cifra sería fácilmente asequible para la carga, pero requeriría cuidadoso pro-

yecto para la descarga. También sería necesaria una capacidad de almacenamiento del orden de 300-400.000 toneladas por lo menos.

Llamamos la atención en este punto sobre la existencia en el estrecho de Rande, en Vigo, de una instalación de carga de mineral de hierro, propiedad de la Empresa Minero Siderúrgica de Ponferrada. Esta instalación tiene las siguientes características:

- capacidad de almacenamiento: 350.000 toneladas de mineral procedentes de ferrocarril.
- capacidad de carga: 2.000 t/hora.
- barcos que pueden ser cargados: hasta 45.000 toneladas.

Esta instalación es de muy reciente construcción, y se proyectó para cargar el mineral de Coto Wagner, destinado a la exportación.

Sin embargo, nos tememos que su utilización para este fin va a ser muy somera, ya que, como hemos indicado anteriormente, la única salida de dicho mineral es la peletización y el transporte a factoría por ferrocarril.

Sería, pues, muy interesante estudiar la posibilidad de complementar dicho cargadero con una instalación adecuada de descarga, ya que en dicho estrecho existen fondos de 27 m. de agua a 300 m. de la costa y fondos menores de fango de muy fácil dragado más cercanos a aquéllas. Allí podrían entrar y descargar los mayores mineraleros del mundo, cosa imposible en cualquier otro puerto español. Desconocemos los problemas que pueden surgir (corrientes, etc.), ni la inversión que puede suponer la instalación de descarga en cuestión, pero es evidente que el costo de un detenido estudio de viabilidad sería ridículo comparado con las ventajas que se podrían derivar.

#### 4.5.3. Aspecto político.

La instalación de un cargadero común para minerales de importación tendría, además, las siguientes ventajas:

- a) Crearía un frente común nacional en lo que a importación de mineral de hierro se refiere, lo que permitiría abordar con más firmeza el mercado mundial.
- b) Se podrían suscribir contratos amplios a largo plazo con precios ventajosos.
- c) Se facilitaría la adquisición de muy pocos minerales diferentes pero de muy buena calidad (2).

(2) Ver anexo 2.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los razonamientos expuestos, nos permitimos llamar la atención a los organismos y empresas competentes sobre los siguientes aspectos:

- a) Necesidad de una urgente agrupación de los Cotos Wagner y Vivaldi, y puesta en marcha de los pelets del N. O. con participación de siderúrgicos en el negocio.
- b) Necesidad de que las investigaciones en curso en el S. O. y las futuras en otras zonas del país no se interrumpan ni se apresuren, sino que se ejecuten bajo una única dirección, según un programa que se debe establecer sin dilación.
- c) Conveniencia de estudiar la posibilidad de que Vigo sea el puerto español de recepción de materias primas siderúrgicas, y de reconsiderar en su caso las obras nuevas a realizar en los puertos de Bilbao y Gijón en relación con estos productos.

## ANEXO I. CORRESPONDE AL APARTADO 2.2

Con posterioridad a la redacción y presentación de este trabajo, hemos tenido ocasión de visitar, aunque muy brevemente, las zonas del Suroeste español, donde se han llevado a cabo las investigaciones de mineral de hierro.

A nuestro juicio, y a pesar de la brevedad de la visita realizada, creemos poder establecer las siguientes conclusiones preliminares:

1. Han sido puestas de manifiesto dos zonas con yacimientos que constituyen base suficiente para pensar en sondas explotaciones a escala importante.

Estas zonas son: Cala, cerca de Santa Olalla (provincia de Huelva), y San Guillermo, cerca de Jerez de los Caballeros (provincia de Badajoz), separadas ambas por unos 55 Km. de carretera.

2. La tercera zona investigada, El Pedroso (provincia de Sevilla), constituye un conjunto de indicios importantes pero que no permiten establecer ninguna conclusión preliminar, salvo la conveniencia de una prospección en gran escala y debidamente planificada.

3. A la vista de los resultados obtenidos hasta el presente, es muy importante definir y programar muy detenidamente el plan futuro a seguir en la prospección de toda la zona reservada, tal como hemos indicado en el texto.

4. Respecto de los yacimientos de Cala y San Guillermo, estimamos que el mineral cortado por los sondeos tiene aptitud para ser enriquecido por concentración magnética por vía húmeda previa molienda a tamaños tipo 0,300 mm. hasta un 65 por 100 Fe, obteniéndose unos estériles con 10 por 100 Fe y un rendimiento metal de 90 por 100 o superior (orden de cifras). Los concentrados que se pueden obtener tendrían, a nuestro juicio, aptitud para, previa molienda hasta conseguir una superficie específica adecuada

y convenientemente mezclados, fabricar un pelet de alta calidad. En el criadero de Cala, reconocido en parte en mina, pueden estimarse unas reservas muy probables de unos 60 millones de toneladas de mineral del 40 por 100 Fe hasta la cota del valle, dispuestas en paquetes de capas o filones subverticales con una potencia total de unos 60 m., localizados en una capa de unos 120 m. de potencia, explotables a cielo abierto o en explotación de montaña de alta productividad. En el criadero de San Guillermo pueden estimarse unas reservas de unos 25 millones de toneladas de mineral del 45 por 100 Fe sobre cota del valle, explotables en mina de montaña. En esta zona, presentándose el criadero en forma de filón o capa de potencia variable entre 8 y 30 m., con buzamiento de 45° aproximadamente, es de esperar buena productividad, si bien menos alta que en Cala.

5. Estimamos que, con independencia de algunas investigaciones complementarias relativas a correlación de capas o filones en Cala, que confirmen definitivamente y que incluso pudieran aumentar las cifras anteriores de reservas, la definición última de las explotaciones en todos sus aspectos requiere las siguientes investigaciones, cuyo estado actual, por otra parte, desconocemos:

- Estudio de la génesis del criadero.
- Estudio de los métodos de explotación y definición de producciones anuales óptimas.
- Definición de los esquemas de tratamiento.
- Ensayos industriales de molienda.
- Definición del grado de molienda necesario en el concentrado para su peletización.
- Ensayos de filtración del concentrado.
- Ensayos de peletización.
- Estudio de localización óptima de la planta de peletización.
- Estudio de transporte, interconexión y grado de concentración a realizar en cada grupo minero.
- Estudio económico definitivo.
- Redacción del proyecto.

Esta sería, a nuestro juicio, la sucesión lógica de estudios, que debidamente programados podrían permitir la puesta en marcha de una planta de peletización en un plazo de unos 30 meses. En dicha planta podrían producirse unos 1,3 millones de toneladas de pelets, habida cuenta de que cada unidad minera podría producir el equivalente a unas 650.000 t/año de concentrados. Estas estimaciones pudieran muy bien ser rebasadas a consecuencia de los anteriores estudios, ya que debe plantearse la explotación al máximo ritmo posible, compatible con un laboreo racional y una amortización del orden de 20 años. Por otra parte, en la localización definitiva de la planta de peletización, pueden tener influencia decisiva los resultados de las futuras investigaciones que se realicen en el resto de la zona.

## ANEXO II. CORRESPONDE AL APARTADO 4.5

Desde la fecha de presentación de este trabajo hasta hoy, he tenido ocasión de comentar esta concepción con consultores americanos e ingleses, llegando a la conclusión de que el alcance de sus posibilidades puede ampliarse notablemente a la luz de los siguientes extremos:



1. Si a esta concepción, se añadiese la creación de una flota de grandes mineraleros, de hasta 200.000 toneladas como se prevén para un futuro no lejano, y de barcos de distribución, todos ellos construidos en España y navegando bajo bandera española, se conseguiría aún mayor ahorro de divisas en la importación de materias primas.

2. La utilización para la distribución a puertos de destino de barcos o barcazas dotadas de mecanismo autónomo de descarga minimizaría las instalaciones en puertos de destino.

3. Habida cuenta de las necesidades nacionales de otros productos, esta concepción podría ser utilizada igualmente para transvase de fosfatos, alúmina, bauxita, crudos de petróleos e incluso granos y containers.

4. Esta concepción podría, sin duda, atraer la atención de otros consumidores europeos en igual circunstancia que España en lo que a puertos se refiere. Además, también sería de atracción para industrias transformadoras de los productos allí transbordados, con la consiguiente generación de valor añadido, sobre todo si se declarase zona franca.

5. La construcción de este puerto en las costas gallegas, costaría, sin duda, menos que la del dique de Levante de Gijón, pudiendo destinarse la diferencia a la construcción de parte de la flota anteriormente citada.

6. Por último, y para salir al paso del temor, que sin duda está naciendo entre ustedes, al grave golpe que esta concepción puede significar para la industria extractiva española, creemos que lo que se facilitaría no sería una importación sustitutiva, sino un complemento eficaz. Por ejemplo, si en lo futuro el Suroeste pudiera producir gran cantidad de mineral de hierro, España estaría en las mejores condiciones económicas de Europa en lo que respecta a este producto, ya que podría exportar pelets a este continente por Huelva, e importar el mejor mineral del mundo con los fletes más baratos de Europa y, además, se beneficiaría del trasbordo con destino a otros países.

A este puerto, sólo se podrían comparar muy pocas instalaciones en marcha o en proyecto. Entre ellas citamos:

- Europort, en Rotterdam (Holanda).
- Marsa, en la isla de Malta.
- Isla de Widdy, en la bahía de Bantry (Irlanda).
- Staten Island, en Nueva York.

#### BIBLIOGRAFÍA

- J. L. NIÑO DE OLAIZ y J. M. KINDELÁN: *El mineral de hierro y la siderurgia española*. «Boletín del Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas», núm. 81.
- Postwar shipping revolution*. «The world of NPKS», febrero 1967.
- S. G. TURMEY: *Trends in shipping economics*. «Shipping the next 100 years». J. & J. Delholm Limited, enero 1967.
- J. M. MURRAY: *Future developments of merchant ships*. «Shipping the next 100 years». J. & J. Delholm Limited, enero 1967.
- H. R. MILLS: *The shipping of iron ore*. «Metal Bulletin Iron Ore Special Issue», marzo 1965.

Recibido el 8-VI 67.

JORGE DOETSCH

## LA INVESTIGACION MINERA DE MAGNETITAS Y LOS SONDEOS COMPROBATORIOS REALIZADOS EN EL SUROESTE DE ESPAÑA

### INTRODUCCIÓN

Fué en las Segundas Jornadas Minero-Metalúrgicas tenidas en Sevilla en octubre de 1964, cuando expusimos las necesidades perentorias de investigar el suelo y subsuelo de España desde el punto de vista minero. Hablamos de planes, medios y métodos necesarios.

Hey ya podemos hacer públicas algunas realidades conseguidas, que son fruto de trabajos realizados por equipos especialistas técnicos-científicos. Los componentes son: D. José M.<sup>a</sup> Fernández Becerril, D. Juan Pérez Regodón, D. Tirso Febrel, D. Francisco Esteban y D. Fernando Vázquez.

El lugar donde se ha llevado a cabo esta investigación minera es la Sierra Mariánica, Morena o Bética. Es el borde visible meridional del cratón Ibérico, con sus 500 kilómetros cumplidos de longitud (incluyendo las prolongaciones lusitanas). Poco a poco, y a medida que se estudie concienzudamente esta Cordillera, se logrará conocer las causas del por qué existen al Sur de esta Sierra las mayores reservas mundiales de piritas, así como la razón de la existencia de reservas considerables de magnetitas y otras menas de hierro en el centro y bordes septentrionales de la referida Sierra, quedando también al descubierto el motivo del amplio campo de fracturas rellenas de menas de plomo y minerales paragenéticos al Norte de la Sierra Morena.

Procuramos dar a continuación algunas explicaciones de lo que se ha realizado por el I. G. M. E. referente a menas de hierro en España, particularizando lo realizado en el Suroeste de España. Asimismo expondremos los resultados conseguidos en las investigaciones comprobatorias efectuadas durante los últimos meses, que nos han permitido hacer una cubicación mínima del mineral encontrado.

## I.—LA INVESTIGACIÓN MINERA DE MENAS DE HIERRO

## A) Generalidades.

1.º *Minerales y menas de hierro.*

Un criadero está formado por minerales de algún o algunos elementos químicos que son de interés industrial. El todo uno, o sea, el producto que se obtiene de la explotación, consta de una parte de minerales que no sirven al fin pretendido y se llaman estériles o ganga, y de otra parte de minerales que son motivo de la explotación y se llaman mena.

En la actualidad, las menas ferríferas españolas y que sirven de materia prima a las fábricas siderúrgicas son, desde el punto de vista estructural, las siguientes:

Oxidos ... ..	}	Magnetita $Fe_3O_4$ .
		Hematites roja $Fe_2O_3$ .
Hidróxidos ... ..	}	Hematites pardas.
		a) Goetita (hierro acicular) $\alpha$ — $FeOOH$ .
		b) Lepidrocrocita (mica Rubí) $\gamma$ — $FeOOH$ y variedades (limonita, etc.).
Carbonatos ... ..	}	Siderosa $FeCO_3$ .
Silicatos ... ..	}	Chamosita ... ..

Hay que advertir que la chamosita no se explota directamente como mena de hierro. Dadas sus condiciones paragenéticas, es explotada conjuntamente con otras menas.

También conviene recordar que los diferentes nombres mineros dados a distintas menas, corresponden generalmente a variedades de las especies minerales anteriormente descritas.

A veces una sustancia amorfa no cristalizada puede también ser considerada como mena de hierro. El caso concreto nos lo ofrecen los hidróxidos beneficiados en las explotaciones de la Empresa Sierra Menera en Ojos Negros (Teruel-Guadalajara).

La existencia de la maghematita y de la martita, especies minerales de hierro, ha sido ya demostrada fehacientemente en la región del Suroeste y será objeto de una nota ulterior.

2.º *Menas y economía.*

Aún cuando hemos explicado anteriormente el concepto de mena, todavía es necesario aquilatar más y concretar los límites en función de la economía.

Por ejemplo, los sulfuros complejos de la provincia de Huelva son desde hace muy pocos años mena en sentido restringido. Hoy, empleando los procesos de la Imperial Fusión, son económicamente beneficiables. Antes de poderse utilizar este proceso no lo eran, a pesar de contener alrededor de un 54 por 100 de metales como lo son el plomo, cinc, cobre, estaño, antimonio, etcétera. La flotación diferencial de estos sulfuros complejos no era rentable (Grano demasiado pequeño).

Por consiguiente, en toda investigación pueden suceder las siguientes eventualidades: Primero, la investigación resulta fallida. Es negativa. No se encuentra la mena buscada. Segundo, la investigación es, al contrario, positiva. Se encuentra la mena inquirida y ésta reúne las condiciones necesarias para ser beneficiada. Pero puede suceder que la investigación, aun siendo positiva, e. d., que encuentre la mena deseada, ésta no reúna las condiciones para ser económicamente concentrada. Insistamos en el ejemplo de los sulfuros complejos anteriormente citados. Por el desarrollo técnico de los métodos de beneficio es posible hoy usar esos sulfuros complejos como materia prima para obtener los metales reseñados.

Aplicando esto al caso de investigación de menas de hierro, podemos decir que se ha generalizado mucho el beneficio de sus menas, pudiendo tratar por lo común menas con el 30 por 100 de hierro metálico y aún menos, con tal de que el hierro contenido esté en forma estructural de magnetita.

3.º *Ulterior tratamiento de beneficio de las menas de hierro.*a) *Generalidades.*

Prácticamente todas las menas ferríferas se han de someter a un tratamiento de beneficio con el fin de mejorar en lo posible sus características físicas y químicas, aproximándose a ser el alimento ideal de una planta siderúrgica.

Tales tratamientos comprenden, en general, la trituración, molienda, tamizado, concentración, clasificación y aglomeración final del producto fino concentrado.

Debido a las grandes diferencias que existen en la trama física del mineral y en la composición química de las menas de un mismo criadero, y más aún si provienen de diferentes yacimientos, también los métodos de trata-

miento difieren grandemente entre sí. Por ello hay que estudiar y ensayar las menas en cada caso particular hasta lograr encontrar el mejor tratamiento de la mena de un criadero determinado y sacarle el mayor rendimiento económico posible.

Esta clase de estudios forman parte, claro está, de la investigación minera, y constituyen sin duda alguna una parte esencial de ella.

Las menas de hierro en el mercado internacional superan con mucho el 60 por 100 de Fe como ley media, y sus características físicas están estrechamente vigiladas. La fuerza económica de la industrialización mundial impulsa vehementemente al aumento del rendimiento económico.

#### b) *En España.*

Las empresas mineras comienzan a preocuparse de este problema. Sin embargo, las menas que se suministran a las plantas siderúrgicas nacionales no superan el 50 por 100 de ley media en hierro metálico. Ello es debido, por una parte, a que no se concentran en España aún suficientemente las menas, y por otra, a que los criaderos ricos, de leyes superiores al 55 por 100 de Fe de ley media (p. e., Sierra del Cordel, de Burguillos del Cerro, en Badajoz) tienen una relativamente exigua cubicación y suelen ir acompañados de especies minerales no deseables en el proceso de reducción en el alto horno.

Todas las menas de hierro españolas son aptas para ser concentradas. La cuestión no se plantea en el terreno científico-técnico, sino en el económico. Dentro de este marco, las menas magnéticas son las más económicamente tratables.

Por ello deben de ser investigadas en primer lugar las regiones nacionales donde existan posibilidades de encontrar magnetitas. Precisamente por esta razón, el I. G. M. E., consciente de su fin primordial, que es conocer las riquezas del suelo y subsuelo nacional, dio comienzo a la campaña de investigación de magnetitas en España, como se expondrá algo más abajo.

Pero antes de centrarnos en la exposición de las magnetitas, conviene dar una idea general de la distribución de las menas ferríferas en España.

Generalmente, los criaderos más importantes nacionales de menas de hierro se encuentran en una zona periférica de la nación y los agruparemos para su estudio según las regiones en que se encuentran situados (Pl. 1).

Excepción de esta situación periférica la constituyen los criaderos de hierro situados en la Cordillera Ibérica o relacionados con ella.

Damos a continuación una descripción sumaria de todas ellas.

#### 4.º *Distribución de los criaderos de menas de hierro en España.*

Las regiones mineras que exponemos seguidamente son:

##### a) *Región Vasco-Cántabra* (Vizcaya, Santander).

La principal mena actual es la siderosa. No tenemos aquí en cuenta, por ejemplo, las chirtas pardas, que se producen también, ya que es exigua su cantidad. Antiguamente, las más importantes menas eran las hematites rojas y pardas, con nombres propios (rubio, campanil, etc.), eran conocidas en los mercados internacionales y apreciados por su pureza y porosidad.

La tostión de los carbonatos proporciona un producto de un 55 por 100 medio de Fe, que concentrado ulteriormente alcanza cerca del 60 por 100 de Fe. La principal impureza es el azufre (0,5 por 100 de S), y el producto da una proporción no despreciable de finos.

Encajan estos criaderos en rocas del Urgoaptense (Cretáceo).

Se calculan las reservas en 100 millones de Tm. (actuales y probables), y otro tanto las posibles.

##### b) *Región del Noroeste de España* (Lugo, Orense, León y Zamora).

Las menas principales de esta región, encajadas en rocas silurianas (ordovicenses), son magnetitas, hematites roja, a veces parda, siderosas y chamosita.

Las principales impurezas son el fósforo (0,6-0,8 por 100 P), y quizá el alto contenido en  $Al_2O_3$  y a veces en  $SiO_2$ .

La riqueza en Fe es, por término medio, del 48-50 por 100 Fe. Debidamente concentrado se obtiene un producto del 60 por 100, bajando algo el contenido en fósforo.

La proporción de gruesos predomina con mucho en la granulometría.

La cubicación actual y probable de esta región es de 750 millones de Tm. La cubicación posible puede ser considerada como de unos 500 millones de toneladas en conjunto.

##### c) *Región del Suroeste* (Badajoz, Huelva y Sevilla).

Esta región contiene gran cantidad de magnetitas, hematites, y accidentalmente siderosa; las menas no son fosforosas.

Las principales impurezas son el azufre (por término medio 1 por 100 o más de S) y a veces la sílice.

Actualmente tiene por término medio 48.52 por 100 Fe y, debidamente concentradas, las magnetitas de esta región dan productos superiores al 65 por 100 Fe con muy alto rendimiento en Fe. A veces (Cala) se encuentran sulfuros de cobre (calcopirita) mezclados o independientes de la pirita dentro del criadero de magnetitas. Con ello el estéril que se obtiene de la concentración magnética adquiere un porcentaje del 0,5 por 100 de Cu, por término medio, constituyendo una mena de cobre.

Pueden ser estos criaderos de edad cambriana o algo posterior. Se calcula las reservas actuales y probables en más de 300 millones de Tm. al parecer fácilmente duplicables si se prosigue la investigación.

d) *Región del Sur* (Granada, Jaén y Málaga).

Comprende esta región el grupo de criaderos localizados en el Marquesado de Jerez (Granada) y en el área de Ojén, en Málaga. Contienen respectivamente hematites rojas y magnetitas.

Los criaderos hematíticos no suelen tener impurezas.

En el caso del criadero de Ojén, las magnetitas compactas contienen monosulfuro de hierro magnético.

La ley media es cercana al 48.50 por 100 de Fe. Los concentrados magnéticos alcanzan el 60 por 100 de Fe.

Los criaderos hematíticos producen más de un 50 por 100 de finos.

La edad de los criaderos hematíticos es triásica, mientras que la edad de los criaderos de magnetita es quizá anterior; arman en rocas metamórficas en relación con dolomías cambrianas.

Las reservas actuales y probables se calculan en 100 millones de Tm.

Los pocos estudios realizados en esta región no permiten aún una cubrición posible de nuevos criaderos.

e) *Región del Suroeste* (Almería, Murcia y Albacete).

Enclavados en las provincias de Almería y Murcia, existen criaderos ubicados dentro de terrenos triásicos o metamórficos.

Por lo común, se trata de hematites. Secundariamente existen pequeñas áreas de magnetitas. Las principales impurezas son el azufre, contenido generalmente en forma de pirita, y cierto contenido en Mn.

Las leyes medias son del 48 por 100 de Fe.

En la granulometría prevalecen con mucho los finos.

Las reservas actuales y probables se cifran en 50 millones de Tm. Faltan estudios apropiados para dar reservas posibles de nuevos criaderos.

f) *Región del Este* (Tarragona, Barcelona y Lérida).

Se incluyen en esta región todos los criaderos comprendidos dentro de la Cordillera litoral catalana y parte oriental de los Pirineos, dentro del condado de Cataluña, que encierra las cuatro provincias catalanas actuales.

Las menas corrientes son las hematites y la magnetita (Lérida).

La ley media puede cifrarse en 45 por 100 de Fe y la impureza principal es el azufre (pirita).

Por falta de estudios, las reservas actuales, probables y posibles se calculan en 10 millones.

La edad geológica de formación es aún prematura de definir.

g) *Región del Centro-Este* (Burgos, Logroño, Soria, Zaragoza, Guadalajara y Teruel).

Incluimos en esta región los criaderos ubicados en primer término dentro de la Cordillera Ibérica, desde la Sierra de la Demanda hasta el Maestrazgo (Castellón). Incluimos naturalmente toda la zona de la Sierra del Madero, del Moncayo y de la Sierra Menera. Comprende, de Norte a Sur, las provincias de Burgos, Logroño, Soria, Guadalajara, Zaragoza y Teruel.

Las menas corrientes son hematites rojas y pardas o hidróxidos amorfos. A veces los óxidos de hierro son muy puros (Sierra del Madero, Soria).

Las principales impurezas son azufre, alúmina y sílice y, a veces, barita y fósforo.

La granulometría es, en general, deficiente. Predominan los finos.

Las reservas actuales y probables estimadas alcanzan los 50 millones de Tm. Una vez realizado un detenido estudio de la Cordillera Ibérica, se podrá quizás hablar de 500 millones de Tm. de mineral, de dudoso aprovechamiento económico.

h) *Varios*.

Recordamos que en el anterior reparto de criaderos de menas ferríferas no hemos incluido algunos criaderos de hierro existentes en Córdoba, Jaén, etcétera. Los de Jaén pueden tener cierta importancia, especialmente desde el punto de vista de los óxidos rojos.

### 5.º *Las magnetitas en España.*

Para empezar recordemos que es doble la finalidad de la investigación de magnetitas en el suelo y subsuelo nacional. La primera es la de satisfacer

RESERVAS DE MINERALES FERRIFEROS EN ESPAÑA

Regiones	Reservas de toneladas métricas		Menas	Hierro contenido		Edad geológica	Impurezas (principalmente)	
	Millones de toneladas métricas			Natural	Concentrado			
	Actuales, probables	Posibles						
No mag.	Mag.	No mag.	Mag.					
1) Vasco Cantabria (Bilbao, Santander)...	100	100	100	100	36-40 % Fe	56-60 % Fe	Cretáceo	0,5 % S
2) Noroeste...	750	500	500	500	Predominantemente siderosa	> 59 % Fe	Ordoviciense	> 0,6 % P
2) Suroeste...	300	600	600	600	Magnetita, hematites, siderosa	> 64 % Fe	Cambriano Siluriano	1 % S
4) Sur...	50	25	25	25	Magnetita, hematites, magnetita	47 %	Triásico	-
5) Sureste...	50	50	50	50	Hematites, hidróxidos, magnetita	48 %	Triásico	1 % Mn
6) Este...	10	10	10	10	Magnetita, hematita	45 %	?	-
7) Centro-Este...	50	500	500	500	Hematites, magnetita	45 %	Triásico	> 7 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
TOTAL RESERVAS...	200	1.100	625	1.125	hidróxidos amorfos, hematites	45 %		1 % Ba

con minerales nacionales las demandas de las siderúrgicas españolas. La segunda es preparar menas ferríferas de calidad internacional para su exportación. Con lo primero se evita la evasión de divisas. Con lo segundo se adquieren divisas.

Hemos hablado anteriormente de que las magnetitas son las menas ferríferas de mayor precio, debido precisamente a su propiedad de ser fácil y económicamente concentrables en función del tamaño de grano con el que se presenta la magnetita en la mena.

En España disponemos principalmente de dos regiones, ya conocidas, en las que abunda la magnetita. Estos dos regiones son la del Noroeste y la del Suroeste. En otras regiones existen también criaderos de magnetitas, pero no tienen reconocidas, al menos hasta ahora, cubriciones de interés. Por ello consideramos tan sólo las dos regiones anteriormente citadas más arriba.

a) Región del Noroeste.

Comprende esta región las provincias gallegas de Lugo y Orense, algo de la de Asturias y parte de las provincias de León y Zamora.

Constituye una zona litoral del Ordoviciense, acostado sobre el cratón arcaico gallego, que queda al Oeste. El arco que forman los sedimentos ordovicienses tiene más de 200 kilómetros de longitud, y la repetición de fases sedimentarias superpuestas supera en ciertos casos la docena de veces. Comprueba este aserto el hecho visto por el autor de 16 capas diferentes inicialmente superpuestas en la zona de El Cuervo, de los criaderos del famoso coto minero Wágner. Se repitieron, pues, iguales condiciones de deposición durante un vasto período de tiempo ordoviciense con idénticos aportes y régimen paleo-climatológico en la misma cuenca de recepción y de sedimentación.

Seguramente, las mineralizaciones en esta región se podrían agrupar en distintas ramas. Pero el estudio detallado, fundamento para establecer esta ordenación, aún no está realizado.

Característico de los minerales que ofrecen los criaderos de esta región es que todos ellos son semifosforosos, o sea, que tienen un contenido de 0,6 a 0,8 por 100 de fósforo. Este inconveniente lo muestran todas las especies minerales que contiene la mena, o sea, las magnetitas, las hematites parda o roja, la siderosa y la chamosita.

Por lo general, el fósforo no se encuentra en disolución sólida dentro de estos minerales, sino que forma especies minerales definidas, como son el apatito y la colofana (amorfo). Probablemente existe también un fosfato doble mono o triclinico que se presenta en particular en la zona de Vivero. Este

hecho constituye una ventaja, pues se puede pensar en una separación físico-química sin tener que disolver los granos de las menas ferríferas.

De hecho se han tratado estas menas fosforosas con ácido sulfúrico diluido y se ha conseguido disminuir el contenido en fósforo de manera clara. Pero el factor económico no ha quedado totalmente resuelto. Por ello se ha pensado en estudiar la recuperación del fósforo disuelto y parece que, al menos a escala de laboratorio, se ha conseguido con éxito económico. Ahora es necesario probar a escala semi-industrial si realmente es económico el proceso total de desfosforación.

Este intento de planta experimental semi-industrial es objeto de un proyecto del I. G. M. E. y su importancia es muy grande, ya que del éxito de esta planta depende el que se exploten estas grandes reservas de minerales de hierro o no.

#### b) *Región del Suroeste.*

Aun cuando esta región es ya conocida desde hace muchos decenios por las magnetitas de Barginillos del Cerro y del coto minero San Guillermo (Jerez de los Caballeros), ha recobrado renovada importancia debido a la campaña de estudios y sondeos efectuados muy recientemente por el I. G. M. E.

Comprende la parte central y meridional de la provincia de Badajoz, la parte septentrional de la provincia de Huelva y la parte oriental de la provincia de Sevilla.

El resultado de esta campaña es muy halagüeño, pues se ha puesto al descubierto en cada una de las tres provincias un área en la que se han cortado las prolongaciones de criaderos que habían sido explotados en ocasiones pasadas, o quizá actuales. Por conocerse las condiciones de estos criaderos, se ha procedido a escalar los sondeos en perfiles mineros próximos, para dar información suficiente en orden a proporcionar una cubicación muy probable.

Las menas que proporcionan los criaderos de esta región son, por orden de importancia: magnetitas, hematites rojas y pardas. Relegados a un segundo plano, existen carbonatos.

Las impurezas principales son el azufre (pirita y no pirrotita) y la sílice.

Dado que la cubicación de las magnetitas encontradas es muy superior al de otras menas existentes, es conveniente hablar de las características de estas menas. Son generalmente de grano bastante grueso y las impurezas (en especial la pirita) se encuentran, por lo común, concentradas especialmente y no están en íntima interconexión con los granos de magnetita. Este es el principal motivo por el cual estas magnetitas, con sólo triturarlas a 0,3 mm,

concentran fácilmente por encima del 65 por 100 de Fe, con rendimiento en hierro superior al 85 por 100. Se ha realizado en el I. G. M. E. y en diversos laboratorios de fama mundial el estudio de concentración de estas menas y el de los 12.000 metros de testigos de los sondeos efectuados.

#### c) *En otras regiones.*

Se conocen criaderos de magnetitas en otras regiones de España (Granada, Murcia, Jaén, Lérida, etc.). Pero mientras que no se reconozcan más a fondo, es poca la información que se tiene de ellos. Ello obliga a realizar estudios en muy diferentes regiones de España, y es casi imprescindible llevar a cabo un vuelo aero-magnético con la finalidad de localizar las anomalías magnéticas principales de España y posteriormente estudiarlas más detenidamente con equipos terrestres. Éste ha sido el camino seguido en la investigación del Suroeste y los resultados están a la vista de la Nación.

De hecho se sabe que, en determinadas condiciones, la magnetita se precipita directamente de una solución en función del pH y rE. En terrenos pertenecientes a la Era Secundaria, es posible encontrar criaderos de magnetita que sean susceptibles de explotación.

Teniendo en cuenta este hecho, proyectamos el estudio aeromagnético en toda España.

#### 6.ª *Investigación de magnetitas del I. G. M. E.*

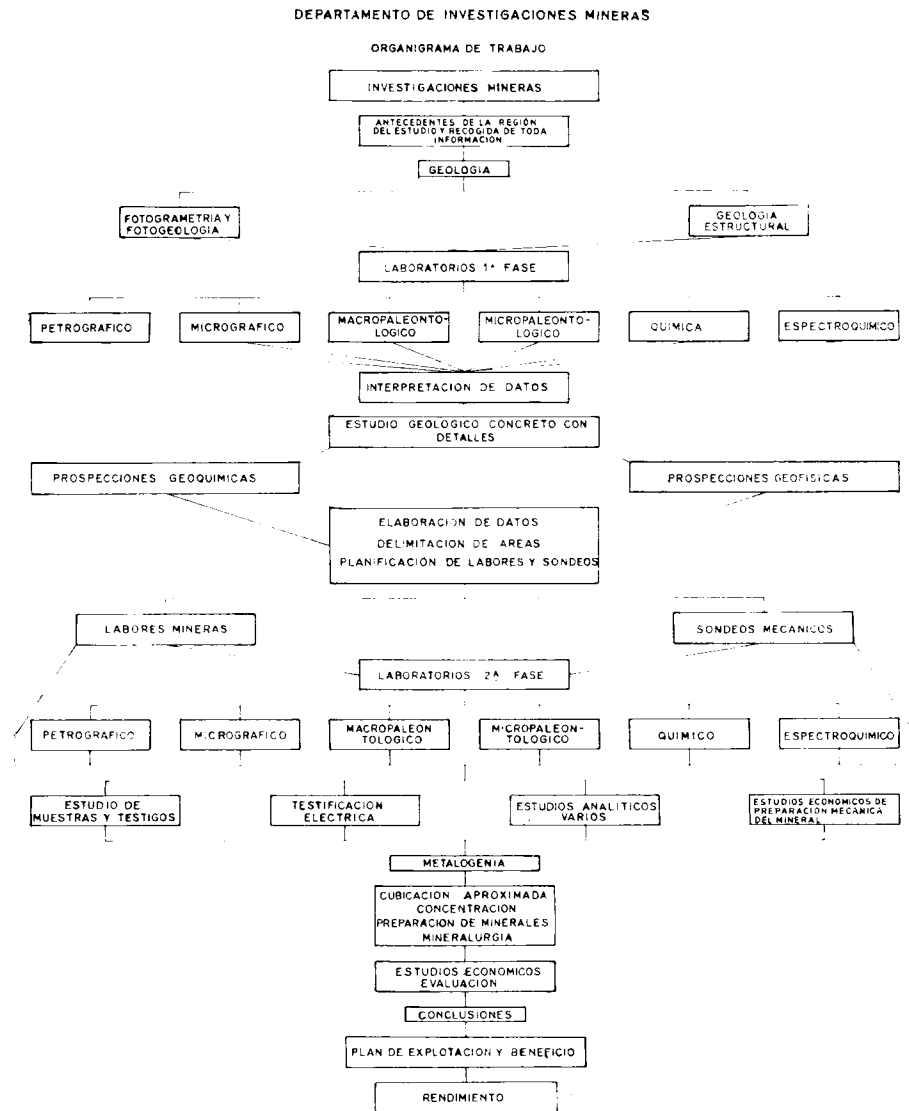
Como antes se ha dicho, el I. G. M. E. inició ya en octubre de 1965 el estudio de las magnetitas en España. Se escogió inicialmente la región del Noroeste, donde se sabía que existían grandes reservas de magnetitas y se deseaba tener una idea clara sobre ellas.

Se realizaron muchas investigaciones geofísicas magnéticas terrestres y de toma de muestras en calicatas y pocillos.

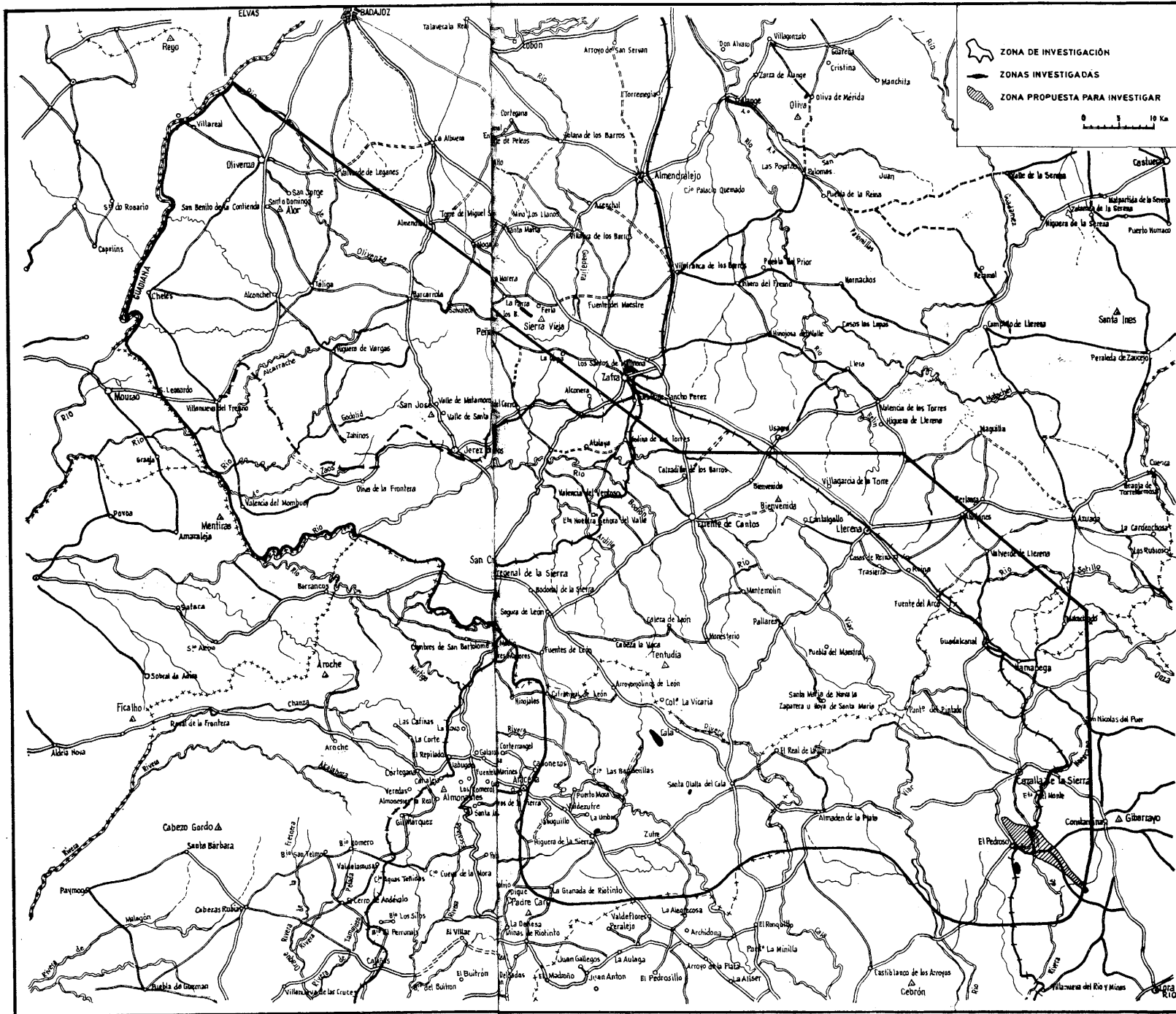
El resultado inmediato fue comprobar la existencia de fósforo y a veces también de arsénico en las menas, particularmente en los criaderos ubicados en el Norte.

Al tener en cuenta que en esta región existían dos grandes empresas que tienen reconocidas reservas actuales superiores a los cien millones de toneladas cada una, y además cada una de ellas está en condiciones actuales de explotar sus reservas a un ritmo superior al millón de toneladas anuales, el I. G. M. E. decidió investigar magnetitas en otras regiones de España, donde no existiera el inconveniente de ser fosforosas las menas y no hubiesen reservas reconocidas como las existentes en la región del Noroeste.

En diciembre del mismo año se dió comienzo a la investigación en el Suroeste de España, llegándose a la reserva estatal de aproximadamente 16.000 kilómetros cuadrados. Aquí es donde se hicieron los trabajos que a

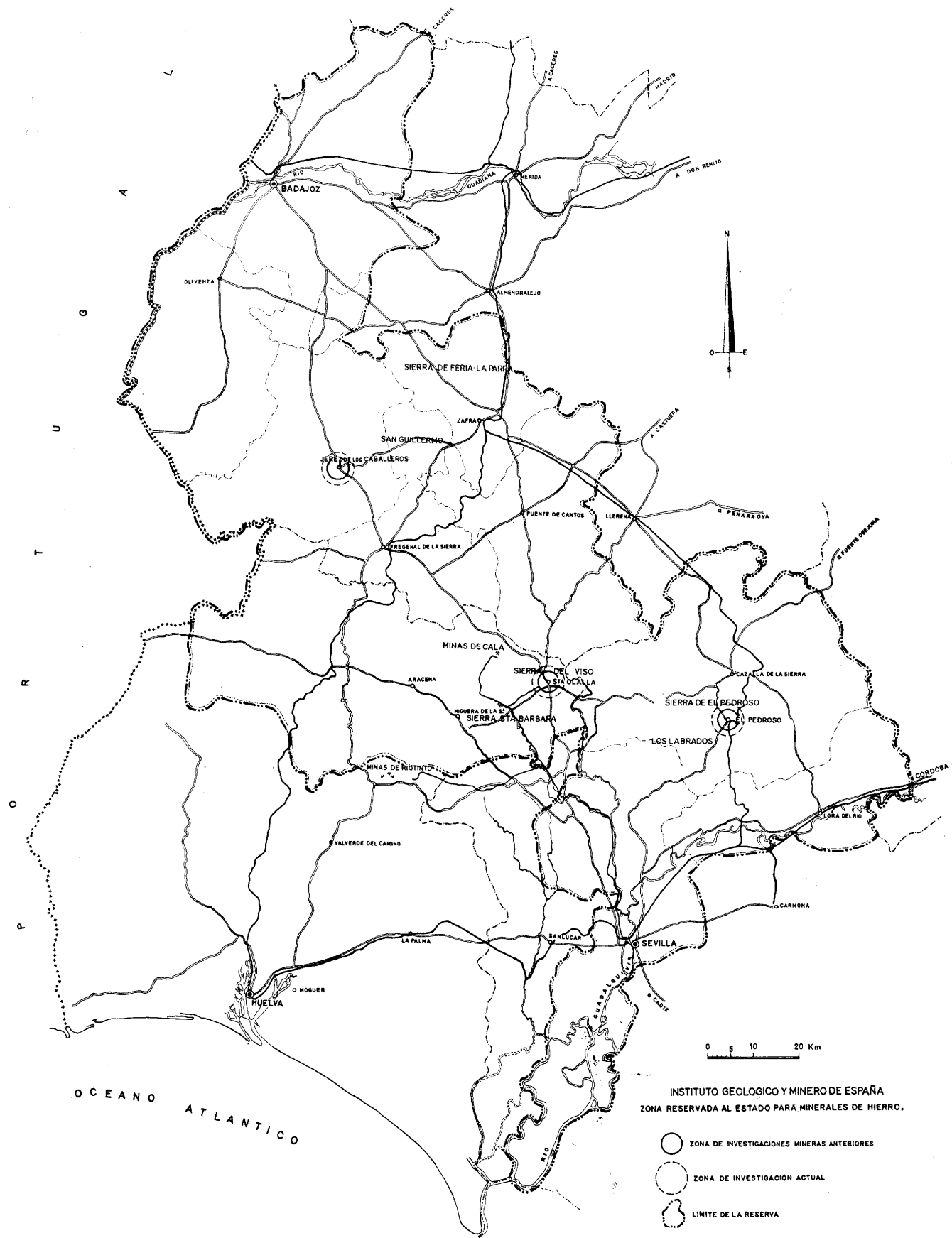


continuación se exponen, que en los diferentes apartados y en detalle son relatados por cada uno de los componentes del equipo investigador. (Plano de la reserva estatal, Pl. 2). También presentamos la zona de mayor interés para investigación de magnetitas (Pl. 3.)



Mapa de la zona de estudio en el suroeste de España, mostrando las zonas de investigación y las zonas propuestas para investigar.





INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA  
 ZONA RESERVADA AL ESTADO PARA MINERALES DE HIERRO.

- ZONA DE INVESTIGACIONES MINERAS ANTERIORES
- ZONA DE INVESTIGACIÓN ACTUAL
- LIMITE DE LA RESERVA

## **B) La investigación minera de criaderos ocultos.**

La planificación de una investigación minera de criaderos ocultos ha sido ya tratada en otras reuniones que hemos tenido con anterioridad y también en la presente.

Para minerales magnéticos como los que han de ser objeto de la prospección minera de la región del Suroeste, ésta se ha de someter a la aplicación de las diversas técnicas reseñadas en el diagrama adjunto, que es fiel reflejo de lo tratado hace años. (Cuadro A).

### *1. Geología*

La recogida de antecedentes nacionales y extranjeros de la región que se quiere estudiar es fundamental. Todos estos datos han de ser comprobados posteriormente, tanto en el campo como en el gabinete y laboratorio, pues a veces los autores sólo reflejan criterios subjetivos, y no los objetivos y reales.

Se han de tomar los datos necesarios en el campo para poder llevar a cabo un estudio estructural tectónico de la región que se quiere investigar. Ejemplos múltiples de ello se podrían aducir, pero bastará recordar el de las piritas del Suroeste de España. Gracias a los estudios concienzudos de personas que forman parte de nuestro equipo (Sres. Febrel y Vázquez) se ha podido dar la solución objetiva y real de la existencia de esos criaderos de piritas sudibéricos después de bastantes años de trabajo.

En la actualidad ha podido realizarse el estudio de 600 kilómetros cuadrados, la Hoja de Santa Olalla de Cala, número 918, a escala 1:50.000, y se ha llegado a conclusiones muy importantes que verán la luz pública dentro del año presente. También se están confeccionando las Hojas de El Pedroso y la de Jerez de los Caballeros, pero aún se encuentran atrasadas, pues la labor que requiere cada una de ellas es grande, como sabe todo aquel que se haya dedicado seriamente a esta clase de trabajo.

Ante todo se ha de realizar la cartografía geológica de la región, pues es un error no exiguo creer que se conoce la geología y génesis de un criadero estudiando tan sólo los contactos de éste con los estratos o rocas en que encaja.

Hoy en día no se concibe la geología, sus métodos y sus técnicas, sin tener laboratorios en los que se puedan someter las muestras a estudios detenidos y ni los especialistas necesarios, bien equipados, para obtener la mejor información posible de esas muestras. Así se podrá avanzar en el conocimiento de la Naturaleza que se ofrece al investigador minero, el cual, además de todo lo que concierne a la geología general de una región, necesita de datos

mineros que encierra en sí este trozo de corteza terrestre que ha de ser estudiada bajo dicho aspecto.

Una vez realizado el trabajo geológico general de una región, habrá que entresacar zonas que hayan dado indicios de mostrar algún interés particular, habiéndose de efectuar en estas zonas estudios más detenidos y con más detalle. El resultado de los mismos, aconsejará la realización de estudios geofísicos y geoquímicos, que ayudarán a localizar los criaderos ocultos existentes en la región que se investiga.

## 2. *Prospecciones geofísicas y geoquímicas.*

Preciosos auxiliares de la investigación minera son los métodos y técnicas de la geofísica y geoquímica aplicadas a la investigación minera.

No es este el lugar apropiado para desarrollar este tema tan amplio como sugestivo. El papel que juegan en la investigación minera es muy importante, pero siempre como valiosos auxiliares de los datos conseguidos por los estudios geológicos estructurales y tectónicos. A su vez, éstos no pueden desprenderse del sentido minero, so pena de exponerse a fracasos continuados.

La aplicación de estas técnicas geofísicas y geoquímicas, como pueden ser los métodos electromagnéticos, gravimétricos, magnetométricos, etc., para las técnicas geofísicas, o los métodos de elementos-traza, elementos diatómicos, etc. para las técnicas geoquímicas, nos ha de proporcionar una información variada y bastante amplia en general. Se recomienda certeramente que los directores sean especialistas en la materia, que lleven consigo un lastre suficiente de experiencia en estas materias, y que sean mineros para evitar desilusiones finales en el largo camino de la investigación minera. No por ello se han de despreciar datos que en la prospección concreta y determinada no hacen al caso, sino muy por el contrario, se han de archivar, por si pudieran ser útiles en otras investigaciones, o quizá en la que se realice en alguna ocasión futura en el mismo lugar.

Los datos, y toda la información obtenida por la aplicación de estas técnicas geofísicas y geoquímicas, han de ser estudiados a la luz de los que se posean ya con anterioridad y hayan sido fruto de los estudios geológicos realizados. Ponemos por ejemplo el clásico tópico de los geofísicos, que achacan a estratos de pizarras carbonosas unas anomalías que a la fuerza deben su origen a otra causa, pues en concreto no existían en aquellas zonas tales estratos de pizarras carbonosas. Eran pizarras impregnadas en direcciones privilegiadas por sulfuros (pizarras mineralizadas en filamentos conexos).

Una vez en posesión de los datos que se han obtenido, se procederá a delimitar unas áreas más reducidas que servirán de ubicación de las labores mineras y de los sondeos mecánicos.

## 3. *Labores mineras y sondeos mecánicos.*

Técnicas comprobatorias de la información deducida de los estudios llevados anteriormente a efecto son las clásicas labores mineras y los sondeos mecánicos.

En este punto hemos de tener en cuenta que se trata siempre de un criadero oculto, y que en ningún caso existe afloramiento alguno.

La situación de pocillos de investigación con previsión de poder llegar como mínimo a los 75 metros de profundidad, y de sondeos mecánicos verticales y oblicuos con recuperación de testigos, ocupa mucho tiempo de estudio en el campo y en el gabinete. Naturalmente es trabajo de gran responsabilidad y que representa en inversión la mayor parte del presupuesto de la investigación. Como ingeniero, hay que aquilatar al máximo el rendimiento económico, pero teniendo asimismo en cuenta la finalidad de la prospección.

No parece que pueda ofrecer alguna duda el que las labores dan mucha mayor información acerca del criadero mineral investigado que toda una campaña de sondeos mecánicos.

Además existe siempre la posibilidad de hacer traviesas, contrapocillos, etcétera, y reconocer el criadero en mayor proporción, tanto cualitativa como cuantitativamente. La ventaja principal de la campaña de sondeos consiste en su rapidez de ejecución.

La elección de las labores mineras o de las campañas de sondeos ha de realizarse siempre por persona dotada de información de aquellos contornos, que esté en posesión de todos los datos que la investigación haya ofrecido y sepa lo que es una mina. En una palabra, ha de ser minero.

Con esto hemos llegado a considerar en el momento actual un punto que no se suele ver tratado frecuentemente. Es el factor subjetivo, que interviene en la investigación minera como en cualquier otra actividad humana.

## 4. *El sentido minero.*

Varios son los aspectos que se pueden desarrollar en relación con el así llamado «sentido minero». Uno, por ejemplo, es similar al que posee el buscador de fósiles, es decir, el hombre de campo que se ha tomado por guía de la comarca y, por decirlo así, «huele» donde existen yacimientos de fósiles, quizá inútilmente buscados durante muchos días por especialistas venidos desde muy lejos. De este aspecto no vamos a hablar, por no ser una cualidad humana general.

Otro de los aspectos, e interesante para nosotros, es el hábito que tienen los mineros de una región para conocer donde está el mineral escondido.

Ellos se han fijado durante muchos años en detalles físicos y, a veces, químicos de las rocas que se le escapan al más encumbrado científico.

Este hábito minero es lo que se suele llamar «solera minera». No se adquiere si no es por la práctica y la experiencia de muchos éxitos y más fracasos. No en balde este problema está englobado en el mucho más amplio de la ambición de dominio humano sobre la Naturaleza, que ella escatima y obstaculiza al dificultar la comunicación de sus secretos al género humano.

Esta «solera minera» requiere tiempo, al igual que los buenos vinos lo requieren en las bodegas. También quieren muchos padres que sus hijos sean ingenieros y, sin embargo, desde que nacen hasta tanto que hayan dado pública cuenta de su suficiencia técnica, han de pasar muchos años. Por otra parte, esta «solera» no se adquiere en ningún centro de enseñanza superior. Estos tienen como finalidad el formar perchas en cada alumno para que más adelante puedan colgar de esas perchas sus conocimientos adquiridos en el ejercicio de su profesión. Así resumía Lord Rutherford las enseñanzas dadas en la Escuela Real de Ingenieros de Minas de Londres.

Dicha «solera minera» la adquiere personalmente cada cual con las dotes y cualidades que le han sido dadas por Dios, y que ha sabido desarrollar por la afición que le tiene a la materia a la que se dedica. En una palabra, se trata de la vocación minera que, por desgracia, no abunda mucho hoy en día.

### 5. *Ulteriores fases de la investigación minera de criaderos.*

Una vez en marcha la investigación minera mediante la práctica de labores mineras y la campaña de sondeos mecánicos, conjunta o selectivamente, es de todo punto necesario estudiar los productos de aquéllas o de los testigos obtenidos. Ellos representan la inversión realizada y no se puede, en manera alguna, desperdiciar tan precioso tesoro.

Nos sentimos obligados a hacer hincapié en este punto, pues las noticias que llegan hasta nosotros son de que no siempre se ha hecho así. Aún en el caso de investigación negativa, es decir, de que no se encuentre la mena deseada, la información de aquélla bajo el aspecto de las ciencias naturales es muy grande. Bien está que a una empresa sólo le interesa la mena, pero debemos mirar más lejos. A la Nación le interesa todo lo que se investigue en su suelo y subsuelo. Por eso ha de ser estudiado. El organismo estatal a quien deberá acudir es el I. G. M. E., que por esencia se cuidará del estudio.

En el caso de una investigación positiva, en el que el éxito ha coronado los trabajos de prospección, se estudiará la génesis y la ubicación del criadero, el tratamiento más adecuado de la mena, y se proyectará una explotación

minera lo más económicamente posible, recurriendo a otras técnicas auxiliares, entre las cuales está la Geotécnica o Mecánica de las rocas.

Pero en todo este proceso y engranaje de soluciones de problemas planteados por una investigación minera positiva, se requiere mucho tiempo para hacer bien las cosas y dejar la eterna improvisación hispana a un lado. Cierto que, aun poniendo de nuestra parte todo cuanto se requiera, se pueden cometer errores. Somos hombres y los cometeremos sin poderlo evitar. Pero de eso a hacerlo mal a sabiendas, hay todavía un abismo.

## II. LA INVESTIGACIÓN DE MAGNETITAS EN EL SUROESTE DE ESPAÑA.

### A) **Introducción.**

La segunda parte en que hemos dividido la presente comunicación comprende la información más importante de la investigación realizada por el I. G. M. E. a la búsqueda de magnetitas en el Suroeste de España.

Los magníficos resultados conseguidos con un presupuesto exiguo para estos menesteres han sido debidos, fundamentalmente, a que se conocían de antemano determinados criaderos que se estaban explotando y así se conocía de alguna manera la mena ferrífera y la condición de estos criaderos de la región del Suroeste. Es evidente también que se disponía de información, al menos en grandes rasgos, de las posibilidades de dicha región. Nos habíamos dedicado ya hace mucho tiempo a esta zona y recorrido bastante campo, a pie y en caballería. Pero no podemos soslayar la gran importancia que ha tenido la organización del conjunto y la visión de la investigación.

Era necesario encontrar magnetita al coste mínimo posible. Magnetitas puras no era probable encontrar. Tenían que ser menas magnéticas que, concentradas económicamente, diesen un resultado excelente, como se sabía por experiencia. Y esas magnetitas han sido las que hemos podido poner de manifiesto en cantidades que exceden la credulidad de personas no habituadas a la minería moderna y actual.

Pero, por otra parte, existen técnicos que estiman haberse investigado concienzudamente los criaderos estudiados con los sondeos efectuados. Nada más lejano de la verdad objetiva. Bastará echar una mirada a los cortes verticales esquemáticos de la Mina Cala (Cuadro 5) y del coto San Guillermo (Cuadro 7) para darse cuenta rápidamente de la verdad que nos asiste. Una investigación fehaciente requiere aún mucha mayor inversión, pues han de realizarse todavía más sondeos y labores mineras. En las conclusiones insistiremos en ese punto. Sólo se ha iniciado la investigación. Queda bastante por estudiar e investigar en cada uno de los criaderos en que hemos intensi-

ficado la campaña de sondeos, y mucho más aún en los que sólo se han situado uno o dos sondeos, pues en éstos queda en pie la convergencia de información técnica obtenida, que no puede ser anulada por uno o dos sondeos que, en principio, habrán estado mal situados. Aprovechamos, pues, la ocasión para hacer público nuestro meditado sentir acerca del rendimiento de la campaña investigadora en conjunto, afirmando que la investigación de los pocos sitios tocados sólo puede decirse que ha sido iniciada. Hay que ir al fondo de la cuestión, al menos en las cosas tocantes a las ciencias naturales.

En síntesis, queremos dejar bien sentado los siguientes puntos:

- 1.º Se ha iniciado la investigación de la zona del Suroeste en lo referente a la investigación minera, en tres centros de acción.
- 2.º Esta iniciación se hace extensiva a la docena de kilómetros cuadrados (no llega) sondeados. Queda en ellos aún mucho por investigar.
- 3.º Se deduce inmediatamente que el presupuesto de que se disponía era muy insuficiente para hacer una investigación a escala internacional.
- 4.º El rendimiento, o sea, cociente de pesetas invertidas y toneladas de mena magnética cortada, es impresionante (0,08 pts/Tm.).
- 5.º En la zona reservada del Suroeste queda aún muchísimo más que investigar, y se podrán encontrar más menas ferríferas que las actualmente conocidas.
- 6.º Urge el que podamos disponer de más medios económicos.

## B) Elección y ubicación de centros de acción.

### a) Generalidades.

El Plan Nacional de Desarrollo Siderúrgico en vigor, impone cada año, al menos en los próximos, mayores suministros de menas ferríferas a las plantas siderúrgicas como fundamento del aumento de producción de acero nacional. De este hecho nace la urgencia de encontrar considerables masas de menas ferríferas en el ámbito nacional.

Ya hemos dicho que, desde el mes de diciembre de 1965, el I. G. M. E. estaba investigando intensamente en aquella región del Suroeste de España, tan prometedora. Así, al cristalizar a fines de julio la concesión de un presupuesto extraordinario de 25 millones de pesetas para comprobar, mediante labores mineras y una campaña de sondeos mecánicos, toda la información conseguida de tiempo atrás y que se había ido acumulando en relación con posibles criaderos de magnetitas, el convencimiento de su existencia real había echado hondas raíces en nuestra conciencia y había engendrado una certeza moral casi rayana en certeza física. Ya se podrían iniciar las fases más costosas de la investigación minera, o sea, las labores mineras y la campaña de

sondeos. Muchos años habíamos estado esperando esta comprobación, que no se había podido efectuar por falta de medios económicos.

El día 27 de julio de 1966 se nos comunicó la concesión de dicho presupuesto. Desde los primeros días de agosto se organizó el emplazamiento de los primeros sondeos y de las labores mineras iniciales. Era necesario tener un cuidado extraordinario, ya que, de fracasar los dos primeros sondeos, no se continuaría la campaña investigadora.

Con objeto de organizar esta campaña comprobatoria de la investigación en el Suroeste, pareció conveniente, dada la extensión de la zona que se iba a comprobar, dividirla en tres diferentes centros de acción.

### b) Elección y ubicación de los centros de acción.

La planificación de la investigación minera para encontrar magnetitas en el Suroeste de España se realizó escogiendo en cada una de las provincias de Sevilla, Huelva y Badajoz un centro de acción, que correlativamente fueron El Pedroso, Santa Olalla de Cala y Jerez de los Caballeros.

En cada uno de estos centros de acción se eligieron dos clases de áreas de investigación. La primera clase se redujo a investigar prolongaciones de minas ya conocidas y en explotación actual. Así, en El Pedroso se escogió la mina Navalazaro, en Santa Olalla de Cala se eligió la mina Cala, y en Jerez de los Caballeros el coto minero de San Guillermo.

Simultáneamente se hicieron sondeos en áreas totalmente desconocidas en el aspecto minero o, por lo menos, muy mal conocidas, como lo han sido Los Labrados o Las Cumbres, a 10 kilómetros al Sur de El Pedroso (Sevilla), La Sierra de Santa Bárbara, en Higuera de la Sierra y La Sierra de El Viso, al lado de Santa Olalla (Huelva), así como la zona comprendida entre Feria y La Parra (Badajoz).

El fracaso de los sondeos realizados en estas cuatro áreas últimamente citadas y en la Mina Navalazaro nos indujo a concentrar los sondeos en las prolongaciones de los criaderos conocidos de Cala y San Guillermo, y en el centro de acción de El Pedroso se inició la investigación en la Sierra del mismo nombre (Mina La Lima).

La idea directriz que nos movía era clara y diáfana. Se trataba de conocer si las mineralizaciones en fase de explotación inicial en los referidos criaderos se prolongaban o no. Para dilucidar este punto se trazaron cortes mineros, apoyados en datos de anomalías geofísicas y demás información técnica, y se ubicaron los sondeos, verticales y oblicuos.

Tratándose de minerales de hierro, que deben de existir en gran cantidad para permitir una explotación económica, era cuestión de vida o muerte para estos dos criaderos resolver el dilema de la prolongación de las mineraliza-

ciones o de esterilización prematura. El resultado positivo no se dejó esperar, y las mineralizaciones ferríferas encontradas son importantes en cantidad, siendo su calidad buena, pues son fácilmente concentrables como se ha demostrado en múltiples ocasiones.

### C) Los sondeos.

#### a) Generalidades

Antes de iniciar la campaña de sondeos habíamos procurado adquirir una idea lo más clara posible con los ojos puestos en conseguir un rendimiento bueno y apropiado al fin que nos proponíamos.

Dos eran los principales objetivos: 1.º Cortar primordialmente menas magnéticas. 2.º Poder cubicar las menas magnéticas perforadas.

No disponíamos de muchos medios; por el contrario, éstos eran más bien escasos y así fueron necesarias las restricciones. Históricamente, éstas fueron las siguientes:

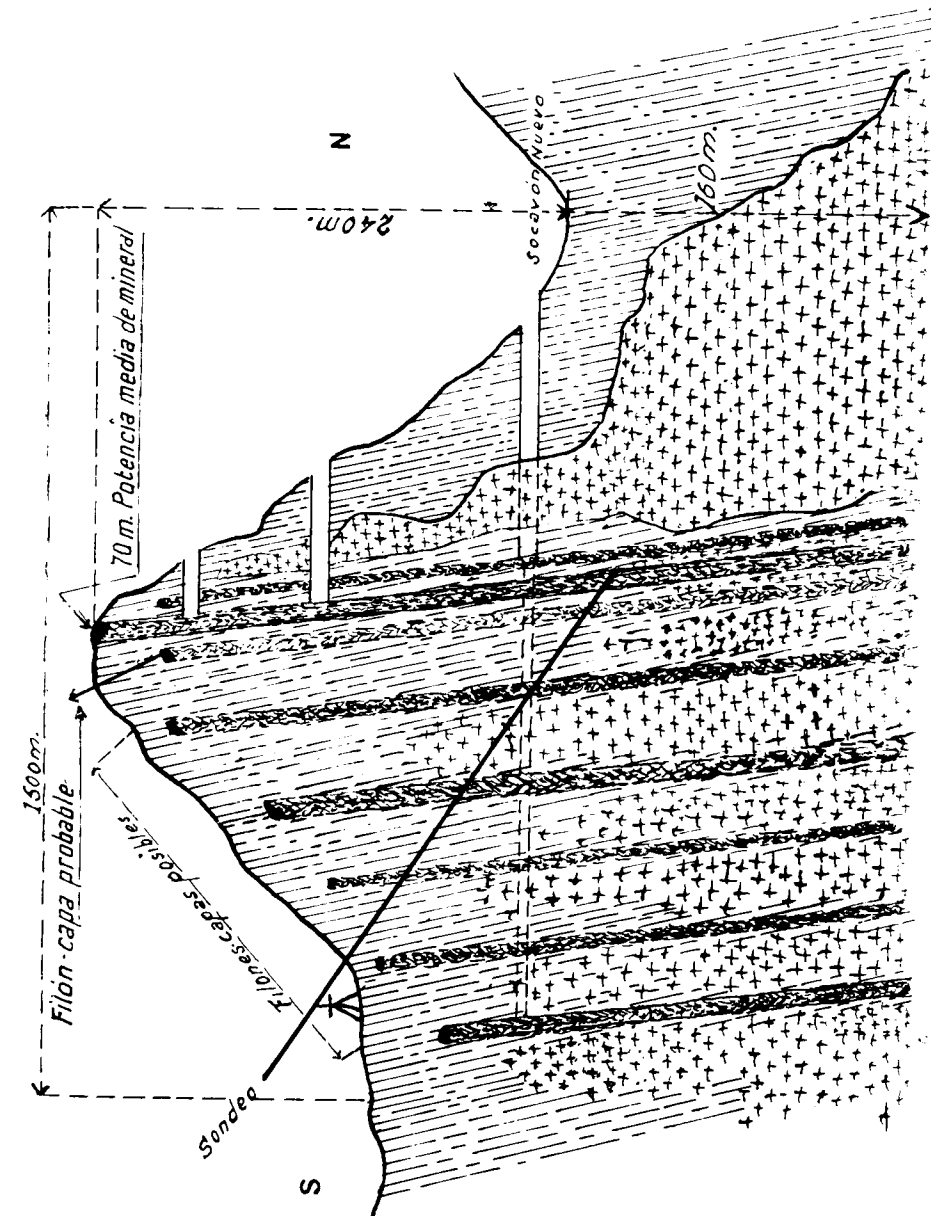
a) Dos son las familias, paquetes o conjuntos de estratos magnéticos conocidos en la Mina Cala en explotación. La más potente era la del Sur. Prescindiríamos de la del Norte en el reconocimiento de detalle, así como de una tercera que demuestra su existencia en la misma cresta y en la parte meridional de la loma de la Mina de Cala. También despreciaríamos el reconocer las mineralizaciones de la solana y los afloramientos en el valle del Sur. (Véanse planos 4, 5).

Nos concretaríamos, pues, exclusivamente a la familia o paquete de estratos centrales o, como se la llama inmeramente, la capa madre, dejando para otra investigación las familias o paquetes septentrionales y las más meridionales. (Esto no es óbice para que en algún sondeo se pudiese probar su existencia en algún perfil determinado).

b) Dos son las capas-filones conocidas en el Coto San Guillermo: una, siliciosa, y otra, más rica en magnetita (esta última ha sido objeto de inmensa explotación en la corta allí existente). Decidimos sacrificar esta última en aras de la continuidad de la capa sílico-magnética, ya que se le podía seguir casi cuatro kilómetros en corrida, mientras que el filón rico, en más de kilómetro y medio, bajaba 250 metros por debajo de la superficie. (Véanse planos 6, 7).

La profundidad a que se encuentra el mineral era muy de tener en cuenta en orden a una explotación futura, y además había que contar con la gran limitación impuesta por el presupuesto concedido.

Nos concretaríamos, pues, exclusivamente a la capa filón de Levante, dejando para más adelante la investigación de la capa filón de Poniente. (Se



Corte N-S Mina Cala.  
Esquema.

pudo demostrar su clara existencia en los sondeos SG-3 y SG-4, cogiendo de refilón el borde oriental de esta capa filón occidental).

c) Se concentrarían todas las torres de sondeo en Cala y en San Guillermo. En la Mina Lima se seguirían los sondeos de tanteo en tanto que diesen resultados apetecibles para ser investigados con un presupuesto con mas holgura.

De esta suerte, y jugando con estas restricciones, hasta cierto punto voluntarias, hemos logrado los dos objetivos propuestos: Cortar menas magnéticas y ubicarlas hasta cierto grado.

#### b) *Empleamiento*

La ubicación de los sondeos que se han perforado en la presente campaña del Suroeste se ha realizado por convergencia, teniendo en cuenta la información proporcionada por los tres factores siguientes: Datos de la investigación realizada, datos netamente mineros, datos que proporcionan otros sondeos anteriores. Los datos que proceden de este último factor no entran en juego en los primeros sondeos. Está claro que en la investigación corriente por sondeos existen dos fases: La primera está formada por sondeos de tanteo cuya misión es la de localizar las supuestas mineralizaciones. La segunda fase está constituida por sondeos ubicados de suerte que se pueda tener una información más concreta sobre cómo se comportan las mineralizaciones (cortes mineros).

En todos los lugares donde hemos efectuado sondeos, recurrimos a la fase de sondeos de tanteo. Sólo donde las mineralizaciones cortadas por los sondeos de tanteo aconsejaban pasar a la segunda fase, hemos emplazado los sondeos distribuidos en cortes mineros que nos pudiesen dar una información más o menos precisa de la posible ubicación del criadero.

Esta segunda fase la hemos usado especialmente en la Mina Cala y en el coto San Guillermo. También se utilizó al final, en la Mina La Lima de la Sierra de El Pedroso.

### D) **Datos de la campaña de sondeos.**

#### *Generalidades y cuadros*

Comienzo de la campaña: 19 de agosto de 1966.

Distribución de las torres de sondeos: damos tan sólo la situación de los sondeos ubicados en la Mina Cala y en el Coto San Guillermo. (Véase el plano de situación de la Mina Cala adjunto y el mapa de superficie de San Guillermo, cuadro núm. O).

Los demás sondeos están contenidos en las respectivas manchas negras que indican las áreas investigadas incipientemente del Plano de la Reserva Estatal de Menas Ferríferas del Suroeste de España.

Número de sondeos hasta el 30 de junio de 1967: 62.

Número de metros perforados: 11.959.

Número de metros que cortaron mena ferrífera: 2.513.

Rendimiento en mineral: 21,8 por 100.

Profundidad máxima alcanzada: 408 metros.

Número de sondeos verticales: 42.

Número de sondeos inclinados: 30.

Diámetro mínimo establecido: testigos de 55 mm. (en algún caso difícil 45  $\frac{1}{16}$ ).

Recuperación de testigos: muy cerca y por encima del 90 por 100.

Jornada de trabajo: mínimo, dos turnos.

Número máximo de máquinas de sondeo en trabajo simultáneo: trece (a veces las trece torres cortaban mineral simultáneamente).

Gasto de coronas de diamante: mayor en la zona de El Pedroso (rocas metamórficas muy silíceas de grano fino). Por lo demás, normal.

Aun cuando se podría poner aquí el historial de cada uno de los 72 sondeos, no juzgamos oportuno hacerlo, pues corresponde mejor a un Boletín de Sondeos. Aquí se trata de dar ideas generales de la investigación realizada.

Por ello daremos los resultados en forma de cuadros.

El primer cuadro (cuadro I) reproduce el número de sondeos efectuados, el número total de metros perforados, los metros totales de mineral cortado y el rendimiento en mineral de la campaña de sondeos. Esta última cifra expresa que, de cada 100 metros sondeados, se han cortado 21,8 metros de mineral.

Repartidos entre los tres centros de acción establecidos, damos a continuación los datos del número de sondeos perforados, así como el número de metros profundizados y también el número de metros en mineral. A continuación se expresa en el cuadro el rendimiento en mineral de cada uno de los sondeos individuales.

Empezando por la provincia de Sevilla, los cuadros II, III y IV reproducen las relaciones de los sondeos efectuados en el centro de acción de El Pedroso, comenzando por la Mina Navalazaro, siguiendo por el cerro de la mina La Lima y, finalmente, se pone el sondeo profundizado en el paraje de Los Labrados (Las Cumbres), a 10 kilómetros al Sur de El Pedroso.

A continuación se pasa a la provincia de Huelva, con su centro de acción en Santa Olalla de Cala, reproduciendo el resultado de los 28 sondeos llevados a cabo en la mina Cala hasta la fecha (cuadro V), siguiendo el solitario sondeo de El Viso, a unos 3 kilómetros al Sur de Santa Olalla, y por fin los dos

sondeos realizados en la Sierra de Santa Bárbara, junto y al Norte de Higuera de la Sierra (cuadros VI y VII).

Por último, la actividad sondeadora en la provincia de Badajoz desde su centro de acción de Jerez de los Caballeros se centra en el coto minero San Guillermo (cuadro VIII) y el área de Feria-La Parra (cuadro IX).

### E) Observaciones sobre los resultados de la campaña de sondeos.

Parece conveniente añadir algunas palabras referentes a cada uno de los cuadros que se han expuesto precedentemente.

#### Cuadro I.

En pocas líneas resume la actividad que efectuaba en nueve meses y medio (desde mediados de agosto de 1966 hasta fines de junio del año 1967). Ha establecido un récord nacional por su rendimiento en mineral.

CUADRO I

*Metros perforados y rendimientos totales*

Fecha: 1.º de julio de 1967

N.º de sondeos	Metros perforados	Metros en mineral	Rendimiento en mineral
72	11.959	2.513	21,8 %

#### Cuadro II.

La mina Navalázaro se encuentra al Suroeste de El Pedroso, y la separan del pueblo unos 2 kilómetros. Se trata de una masa de forma irregular, abultada en el centro y cruzada por muchos diques de rocas ígneas. Parecía que este lentejón irregular presentaría prolongaciones y así había sido previsto por la convergencia de información técnica conseguida por las anomalías magnéticas, etc. Sin embargo, la comprobación mediante sondeos mecánicos verticales y oblicuos ha demostrado una vez más la extremada prudencia con que hay que proceder en la investigación minera. Generalmente, los máximos del campo magnético, magníficos en sí, provenían de rocas en forma de mogotes que se encontraban muy cercanas a la superficie del suelo y estaban muy cargadas de magnetita. Al descubrir el suelo para hacer el acomodo de la torre de sondeo, se pudo comprobar claramente este hecho.

Al no contener el criadero en explotación prolongaciones determinadas y concretas, se puso fin a la investigación de esta mina; por otra parte, tiene

cubicadas en su corta a cielo abierto más de un millón de toneladas de un mineral aceptable, sin azufre prácticamente.

CUADRO II

*Centro de acción: El Pedroso (Sevilla)*

1.º) Mina «Navalázaro»

Sigla	Metros perforados	Metros mineralizados	Rendimiento	
NV- 1	107	2	1,8	
NV- 2	134	4	2,9	
NV- 3	60	6	10,0	
NV- 4	68	—	—	
NV- 5	51	2	3,4	
NV- 6	77	8	10,4	
NV- 7	170	17	10,0	
NV-10	111	20	18,0	
NV-11	76	13	17,0	
NV-13	127	10	7,8	
TOTALES	10	981	82	8,13

#### Cuadro III.

La mina Lima, o La Lima, situada en el extremo occidental de la Sierra del Pedroso, que se alza al Norte y junto al pueblo de El Pedroso, nos pa-

CUADRO III

*Centro de acción: El Pedroso (Sevilla)*

2.º) Cerro de La Lima

Sigla	Metros perforados	Metros mineralizados	Rendimiento	
L-1	207	55	26,5	
L-2	152	56	36,8	
L-3	156	41	26,2	
L-4	236	140	59,3	
L-5	119	5	4,2	
L-6	95	43	45,2	
L-7	210	20	9,5	
L-9	251	40	15,9	
TOTALES	8	1.426	400	28,0



reció que sustituiría con ventaja a la campaña investigadora de la Mina Navazaro. Según el estudio del Ingeniero de Minas Sr. Carvajal, publicado en «Notas y Comunicaciones» del I. G. M. E. del año 1928, la Sierra de El Pedroso está constituida por un sinclinal, elevado y rodeado por rocas ígneas ácidas. Parece ser que, según los estudios que se van llevando a cabo actualmente, se puede admitir esta hipótesis. En dicha Sierra se encuentran horizontes de pirita sedimentaria generalmente mezclada con diminutos granos de magnetita. A veces recubre la superficie un hidróxido silíceo ferrífero, que puede tener decenas de metros de espesor. Sobre esta base de hidróxidos silíceos, distribuimos varios sondeos de tanteo con resultados extraordinarios. A veces en contacto con los hidróxidos, y la mayor parte de ellas separados por rocas arcillosas sedimentarias, aparecieron masas de magnetitas de gran potencia y buena calidad.

Por desconocer aún en estos momentos los resultados de la geología de detalle que se está realizando, no podemos adelantar datos concretos, que a su debido tiempo se podrán exponer.

La diferencia de cota de más de 250 metros desde la cresta al valle, la longitud de la Sierra (más de 6 km.), y los afloramientos en la parte central y, especialmente, en la oriental, favorecen una seria investigación. A fines del siglo se explotaron allí óxidos de hierro y se construyó la fábrica de El Pedroso para beneficiar dichos minerales, cuya explotación se paró al aumentar el tenor de azufre en los minerales. Es de esperar el encontrar en profundidad masas de magnetita no despreciables, que harán aumentar el cubo y las reservas nacionales de minerales de magnetita, así como también de hematites sulfuradas. Se prevé para tiempos próximos una seria investigación de esta zona, que, si bien explotada en sus afloramientos orientales, no está estudiada y menos investigada.

#### Cuadro IV.

El paraje de Los Labrados, a 10 kilómetros al Sur de El Pedroso, encierra en las lomas denominadas Las Cumbres una serie de fajas de material magnético interesante. Su geología no ha sido aún estudiada, pero parece que

CUADRO IV

Centro de acción: El Pedroso (Sevilla)

3.º) Los Labrados (Las Cumbres)

Sigla	Metros perforados	Metros mineralizados	Rendimiento
L. L. 1	270	—	—

puede ofrecer un gran interés. El único sondeo que se ha perforado resultó mal colocado y ha atravesado casi continuamente una zona de skarn. Es totalmente necesario volver a este sitio y seguir su investigación a fondo, una vez estudiada su geología.

#### Cuadro V.

Se refiere este cuadro a los resultados obtenidos en la Mina Cala. Como de ella vamos a hablar con mayor detalle al tratar de cubicar las menas magnéticas que contiene, dejamos para más adelante el comentario sobre ella.

CUADRO V

1.º) Sondeos «Minas de Cala» (Huelva)

Sigla	Metros perforados	Metros mineralizados	Rendimiento	
C-1	403,30	236,00	58,5	
C-2	170,00	27,00	15,8	
C-3	165,00	16,00	9,7	
C-4	218,00	100,00	45,7	
C-5	206,80	33,00	16,0	
C-8	181,30	28,00	15,4	
C-9	216,00	64,00	30,0	
C-11	400,25	121,00	30,2	
C-12	170,32	27,00	15,8	
C-16	234,15	64,00	27,3	
C-17	208,72	80,00	38,3	
C-20	221,19	43,00	19,4	
C-21	216,70	78,00	36,0	
C-23	206,30	59,00	28,6	
C-24	120,17	—	—	
C-25	185,00	21,00	11,3	
C-26	222,50	30,00	13,4	
C-27	221,00	80,00	36,2	
C-28	211,00	—	—	
C-30	215,00	96,00	44,6	
C-31	220,00	27,00	12,2	
C-32	293,00	183,00	62,4	
C-33	134,00	16,00	11,9	
C-34	237,00	10,00	4,2	
C-35	158,50	—	—	
C-36	153,49	29,00	18,0	
C-33'	85,70	—	—	
TOTALES.....	28	5.866,42	1.535,00	26,0

*Cuadro VI.*

En él se trata del único sondeo perforado en la solana de la prolongación de las lomas de Cala. Esta prolongación en sentido topográfico no lo es en sentido estratigráfico o, dicho de otra forma, es sólo una prolongación geográfica y no geológica de los estratos de los estratos de Mina Cala. En ella se encuentran unos asomos de magnetita. Allí cerca existía una anomalía magnética y se emboquilló un sondeo en unas pizarras sericito-cloríticas. Ha sido infructuoso a pesar de haber cortado algo de mena magnética.

Aquí sucedió un hecho anecdótico. El 15 de septiembre de 1966 por la tarde descargó una tormenta en aquella región. Estaban trabajando cuatro operarios sacando el testigo, encaramados dos de ellos en la torre. Esta tenía doble altura que un olivo cercano. En éste cayó un rayo y no en la torre del sondeo, gracias a Dios. Eran, sin duda, más conductoras las raíces del olivo y quizá debajo de él existan mejores mineralizaciones.

CUADRO VI

2.º) Sondeos «Viso» (Huelva)

Sigla	Metros perforados	Metros mineralizados	Rendimiento
V-1	140,55	6,00	4,26

*Cuadro VII*

Expresa los resultados de los dos sondeos efectuados en la Sierra de Santa Bárbara, situada junto e inmediatamente al Norte de Higuera de la Sierra. Las perforaciones se hicieron en la ladera meridional de dicha Sierra, y es de suponer que una serie de no menos de seis nuevos sondeos de luz sobre las

CUADRO VII

*Centro de acción de Santa Olalla de Cala*

3.º) Sondeos «La Higuera de la Sierra» (Huelva)

Sigla	Metros perforados	Metros mineralizados	Rendimiento
II-1	163,40	-	—
II-2	143,00	-	—
TOTALES .....	2	306,40	—

probables mineralizaciones de magnetita que están incluidas en esta solana, sin afloramiento alguno. Por otra parte, la geología es muy interesante, y pronto se podrá conocer al publicarse la Hoja de Santa Olalla núm. 918, escala 1:50.000, hecha recientemente.

*Cuadro VIII.*

Resume las perforaciones hechas en este coto minero. Como hemos de indicar algunas líneas al exponer su cubicación algo más abajo, allí nos entenderemos y daremos algunos pormenores.

CUADRO VIII

*Centro de acción de Jerez de los Caballeros (Badajoz)*

1.º) Coto minero «San Guillermo»

Sigla	Metros perforados	Metros mineralizados	Rendimiento	
SG-1	101	33	32,6	
SG-1	152	25	16,4	
SG-3	112	46	41,0	
SG-4	230	75	32,6	
SG-5	99	18	18,1	
SG-6	121	27	22,3	
SG-7	104	4	3,8	
SG-8	105	15	14,3	
SG-9	250	12	11,4	
SG-11	97	22	22,6	
SJ-2	68	12	17,6	
SJ-3	74	29	39,2	
SJ-4	119	12	10,0	
SJ-5	92	7	7,6	
SJ-6	71	25	35,2	
SJ-7	100	2	2,0	
VI-1	172	25	14,5	
VI-2	140	10	7,1	
VI-3	150	30	0,2	
TOTALES.....	19	2.357	429	18,5

OBSERVACIONES: San Guillermo (propriadamente dicho) ..... Sigla SG  
 Santa Justa..... Sigla SJ  
 Paraje Los Vidales..... Sigla VI

*Cuadro IX.*

Resume la actividad sondeadora en la región de Feria-La Parra, donde existen determinados lentejones de magnetita poco sulfurosa. Los sondeos han

cortado magnetita y hematites dentro de unas calizas algo dolomíticas, pero que no ofrecen mayor interés por el momento.

CUADRO IX

Centro de acción de Jerez de los Caballeros

2.º) Sondeos «Minas de Feria» (Badajoz)

Sigla	Metros perforados	Metros mineralizados	Rendimiento
F-1	133,50	27,00	20,2
F-2	88,54	38,00	42,9
F-4	89,85	16,00	17,8
TOTALES	3	311,89	26,96

### F) Estudio de los testigos.

La trascendental importancia que tiene el estudio completo de los testigos radica, como ya se ha expuesto anteriormente, en que toda la información que se puede conseguir de la investigación minera está encerrada en ellos. Son los testigos los que guardan los datos naturales que el investigador minero necesita para llegar a conocer algo de lo que encierra el subsuelo y poder dar una opinión bastante objetiva referente al criadero que se quiere poner en explotación. Por ello han de ser guardados y estudiados como si se tratase de oro en paño.

Internacionalmente, se procede rápidamente al estudio de los testigos en una campaña de sondeos, de suerte que, al mes de haberse terminado un sondeo, el testigo está totalmente estudiado. Nosotros vamos siguiendo esta pauta, pero algo más lentamente. Como modelo de lo que estamos haciendo presentamos el estudio de los testigos del sondeo de Mina Cala C-1.

En el cuadro X exponemos el estudio petrográfico y mineralógico de los testigos, y el análisis químico referido al porcentaje de hierro.

La determinación de la minnesotoita se hizo petrográficamente y se comprobó por difracción de rayos X. La proporción de magnetita en los testigos se hizo por varios métodos; quizá el más rápido sea el de difracción de rayos X que, aunque no es demasiado sensible (mínimo 2,5 por 100), tiene en su favor la celeridad. Además, todos los procedimientos empleados han coincidido finalmente en el mismo resultado.

Prácticamente podemos afirmar, por la experiencia que vamos teniendo, que el tanto por ciento en hierro que acusa el análisis químico se encuentra

CUADRO X  
Columna estratigráfica y analítica del sondeo C-1

Profundidades	Mena	Observaciones	Análisis Fe %	Magnetitas %
0-1,60	—	Pizarras descompuestas sin mineral	—	—
1,60-3,80	2,20	Magnetita bastante pura	61	100
3,80-32,00	28,20	Alternancias de pizarras cloritosas con minerales del skarn de bajo metamorfismo y magnetita rica	39	31
32,00-37,00	5,00	Magnetita pura mezclada con pirita y pocos minerales del skarn	55	42
37,00-50,00	—	Pizarras cloritosas	—	—
50,00-58,00	8,00	Magnetita y pizarras con minnesotoita	58	54
58,70-59,70	—	Caliza	—	—
59,70-65,00	5,30	Magnetita	62	100
65,00-127,00	62,00	Magnetita con alternancias de pirita, minerales del skarn y pizarras de minnesotoita	46	41
127,00-128,00	—	Caliza	—	—
128,00-156,00	28,00	Magnetita con alternancias de pirita, minerales del skarn y pizarras de minnesotoita	48	39
156,00-173,10	7,10	Magnetita con intercalaciones de caliza	52	100
173,10-174,70	—	Skarn	—	—
174,70-191,40	16,70	Magnetita y algo de pirita	60	81
191,40-233,17	—	Dolomita con trazas de mineral	12	54
233,17-235,85	—	Skarn	—	—
235,85-249,00	13,15	Magnetita con pequeñas intercalaciones de skarn	63	96
249,00-263,67	—	Pizarras sericiticas cloritosas con pirita	—	—

Profundidades	Mena	Observaciones	Análisis Fe %	Especies %
263,67-273,25	—	Skarn granatífero	—	—
273,25-276,50	3,25	Magnetita	62	100
276,50-308,20	—	Greissen	—	—
308,20-316,20	8,00	Magnetita y algo de skarn impregnado de magnetita	52	87
316,20-317,25	—	Calizas	—	—
317,25-340,80	23,55	Magnetita con poco skarn impregnado en magnetita	49	98
340,80-342,60	2,10	Magnetita pura	62	100
344,80-343,74	—	Calizas	—	—
343,75-351,73	—	Calizas y skarn granatífero	—	—
351,73-353,16	—	Cuarzo y epidoto	—	—
353,16-377,00	23,84	Magnetita con intercalaciones de skarn y de cuarzo	—	79
377,00-378,85	—	Calizas	—	—
378,85-394,00	—	Skarn	—	—
394,00-403,30	—	Calizas	—	—
Total.....				
			236,89	

en el criadero (testigo) en forma de magnetita a partir, en profundidad, de la zona meteorizada, descontando naturalmente el hierro contenido en la pirita y la calcopirita.

En la actualidad se prosiguen los estudios de elementos químicos traza en los testigos siempre presentes en los minerales del skarn.

El estudio del reparto del cobre en los testigos de Cala acusa una media del 0,43 por 100 en el criadero de magnetitas.

El problema de la concentrabilidad está también resuelto. En la práctica, las muestras de menas magnéticas obtenidas por la campaña de sondeos son idénticas a la mena que se está explotando, no sólo de «visu», sino por análisis por luz reflejada y por otros métodos. Así hemos podido observar que el tamaño de grano es casi igual y el entrecruzamiento o trama de otras especies minerales paragenéticas con la magnetita es exactamente igual que en las menas magnéticas que se sacan de las explotaciones mineras actuales, que sabemos concentran extraordinariamente bien.

### G) La cubicación en general.

#### *Introducción*

Dada la importancia que reviste la cubicación en la investigación de cualquier criadero, es necesario dar entrada a algunas consideraciones generales antes de comenzar la explicación.

No es que vayamos a dar una completa bibliografía de lo mucho que se ha escrito acerca de este tema en el mundo entero y de los métodos preconizados por tal o cual autor como el mejor de todos. Ni tampoco vamos a hacer una descripción de esos métodos, algunos de ellos muy fugaces en el horizonte internacional y que, a veces, llegan con mucho retraso a nosotros, cuando ya en el extranjero están considerados como obliterados. Así, pues, vamos a hablar de las cosas fundamentales y luego sacaremos deducciones lógicas que sirvan para nuestras necesidades.

Consideramos, pues, conveniente dividir este diálogo, o mejor, «plurólogo», en dos partes, una que podremos llamar teórica y otra práctica.

#### a) *Aspecto teórico de la cuestión*

Quando se nos presenta el problema de la cubicación, pensamos inmediatamente en echar mano de la geometría del espacio y determinar el volumen del sólido formado por el criadero. Si éste es bastante regular, se hace rápidamente y con cierta facilidad una determinación del volumen. En el caso corriente, el sólido que representa al criadero es suficientemente imbricado

para que sea necesario dividirlo en muchas partes y obtener el volumen total como suma de dichas partes integrantes. Cuando es extremadamente complicado, es necesario utilizar el cálculo integral y proceder por aproximaciones sucesivas.

Sea como sea, es siempre posible en el caso teórico el poder determinar el volumen del sólido por complicada que sea su forma, al menos por aproximaciones sucesivas.

En este caso teórico, al conocer tres dimensiones y las variaciones de las superficies envolventes, se puede dar la evaluación exacta o casi exacta, como hemos dicho: esta cubicación se denomina real y objetiva, y es conforme con la realidad.

#### b) *Aspecto práctico de la cuestión*

Por regla general conocemos tres dimensiones del sólido real que queremos cubicar. Claro está que siempre estaría en nuestras manos quitar la roca encajante y pelar el criadero, dejándole su forma exterior irregular al descubierto. Así se podrá cubicar con todo esmero. Este procedimiento es posible teóricamente. En la práctica es, por el contrario, generalmente un absurdo. La razón está a la vista del más lerdo lector, pues el factor económico, intrínseco al «desrocamiento», o sea, a dejar el criadero pelado de la roca encajante, hará, por lo común, muy antieconómica la operación.

Luego hay que pensar en otros métodos para conocer la forma del sólido geométrico que forma el criadero en cuestión. Las labores mineras son las que sustituyen al «desrocamiento». Proporcionan mucha información sobre la forma, composición física y química. Teóricamente, para tener una imagen exacta de la forma del sólido, habría que agujerear con galerías y traviesas prácticamente todo el criadero, para reunir los datos necesarios y suficientes para conocerlo. Se requeriría un tiempo precioso, y quizá toda la ganancia previsible de la explotación del criadero o, por lo menos, gran parte de ella, habría que invertirla en esas labores mineras.

Con vistas a la rapidez de la investigación para obtener datos fidedignos en orden a una cubicación, se usan los sondeos mecánicos con recuperación de testigos. Pero este procedimiento tampoco puede ser exhaustivo, so pena de invertir en él gran parte del beneficio futuro que se espera conseguir de la explotación del criadero en cuestión.

No hay, pues, otra salida en la práctica que invertir una suma determinada de dinero que sea apta para demostrar la existencia de un volumen de mena suficiente para responder de una inversión de capital determinada, necesaria para llevar a cabo la explotación, concentración y transporte económicamente favorables a la empresa minera. Y éste es el punto neurálgico de la cuestión: encontrar en la investigación minera un cubo de mineral necesario y suficiente

para que se pueda explotar, concentrar y transportar adecuadamente la mena sacada del criadero. Posteriormente se hará la cubicación más detallada, que culminará, según el aforismo minero, cuando se haya sacado la última tonelada del criadero. Nosotros añadimos algo más: se sabrá la cubicación de un criadero cuando se haya sacado la última tonelada después de haber hecho las investigaciones necesarias y suficientes a los lados (criaderos paralelos), en profundidad (prolongaciones verticales) y en dirección (prolongaciones horizontales).

Preguntamos ahora para que nos respondan con sinceridad: ¿Cuántas son las minas abandonadas en España en que se hayan realizado esas investigaciones? ¿No es verdad que se ha dicho muchas veces que las minas de España están agotadas? ¿Se han hecho las investigaciones feblemente, haciendo los estudios pertinentes a la concentrabilidad de sus menas? Siempre habrá algunas empresas que lo han hecho, sin duda alguna. Pero, ¿y la mayoría? ¿Tenemos derecho o fundamento racional alguno para afirmar que en España la minería no tiene importancia? El opinar es libre, pero indudablemente lleva consigo una responsabilidad.

Queremos, antes de pasar adelante en la exposición, dejar remachado lo que acabamos de insinuar. Si se da una cantidad determinada para llevar a cabo una investigación minera, hay que organizar la investigación de suerte que se le saque el mayor partido posible a la inversión realizada. Nuestro problema se resolvería según un sistema sencillo hasta cierto punto, pues incluye sólo dos aspectos fundamentales: 1.º) encontrar menas primordialmente magnéticas; 2.º) cubicarlas en todo cuanto se pudiera incluir dentro de los límites de la inversión.

Siguiendo estos imperativos impuestos por el costo de la investigación, hemos encontrado menas magnéticas y hemos cubicado en cada uno de los criaderos todo cuanto nos permitían las circunstancias y condiciones dentro de las cuales nos movíamos.

Para conseguir una cubicación real y objetiva de estos criaderos no disponíamos de fondos.

Para conseguir una cubicación bastante aproximada a ésta, hubiéramos tenido que comenzar por hacer ingente número de metros de galerías y traviesas, y estaríamos aún comenzando, habiendo gastado todos los fondos.

Para conseguir una cubicación aproximada a la anterior, hubiésemos tenido que hacer cortes mineros cada cinco metros y coser el criadero con sondeos verticales e inclinados, algunos de éstos, al menos en la Mina Cala, de 600 metros de longitud. Aún así, y empleando los métodos estadísticos, conseguiríamos una cubicación aproximada, y no la real y objetiva.

Después de meditarlo mucho, escogimos conseguir, no una cubicación real y objetiva, imposible de alcanzar con los medios de que disponíamos, ni ninguna de las soluciones aproximadas anteriormente expuestas, sino un vo-

lumen mínimo de mena (si es que lo había) que asegurase económicamente la inversión que se deseaba realizar para la explotación, concentración y transporte a puerto de aquélla. Esto es lo que se ha llevado a cabo y, gracias a Dios, ha dado buen resultado.

#### H) La cubicación en sí y criterios seguidos.

Uno de los problemas más difíciles de resolver con exactitud es la de cubicación real y objetiva de un criadero. Basta para saberlo tener contacto con la minería, en especial con la minería metálica.

Partiendo de la cubicación real y objetiva que tiene todo criadero, vamos a hacer unas disquisiciones.

##### a) *Cubicación geométrica*

Lo primero que llama la atención al observador es la forma geométrica del sólido que constituye el criadero. Por lo común, y especialmente en la minería metálica, este sólido geométrico es bastante irregular. Se puede siempre dividir en partes más regulares y, por suma, lograr la cubicación geométrica cuando se conocen perfectamente las superficies limitantes del sólido irregular geométrico.

En caso de yacimientos sedimentarios de deposición regular y constante, suele ser más fácil esta cubicación.

Pero en cuanto se trata de menas metálicas no sedimentarias, el conocimiento de las superficies limitantes, aún conociendo las tres dimensiones del sólido geométrico, hace la cubicación algo problemática.

Lo que no ofrece casi dudas, y es costumbre en grandes criaderos metálicos (p. e., piritas), es encuadrar partes del criadero dentro de una red rectangular de galerías. Esas partes encasilladas del criadero pueden ser correctamente cubicadas por regla general. (¡Caballones interiores!).

En nuestro caso de la Mina de Cala conocemos la parte que está siendo explotada con alguna exactitud, la cual nos sirve de guía esencial en la cubicación minera del criadero. Dejada como límite casi asintótico la cubicación real y objetiva, tres son las clases usuales de cubicación geométrica según se conozcan las tres dimensiones, dos solamente, o una exclusivamente. Se las denomina cubicación actual, probable y posible respectivamente.

##### b) *La cubicación física*

En este apartado nos referiremos especialmente a lo que se ha llamado granulometría de la mena arrancada durante el proceso de explotación. Po-

dríamos hablar también de otros aspectos físicos de la mena, pero éstos no tienen, al menos por ahora, importancia económica, no reflejándose en la valoración del criadero.

Los mismos mineros le han asignado nombres concretos a la mena, como son mineral grueso, fino, etc., como consecuencia del tamaño en milímetros con que aparece la mena extraída, y de la coherencia mayor o menor que tiene ésta en el mismo criadero. También hablan los mineros de mineral casquero, falso, etc., según sus condiciones de fácil fractura y profusión de diaclasas que lo hacen poco seguro en lo referente al mantenimiento de galerías perforadas en ellos.

La granulometría se refleja fácilmente en el valor de una mena. Por una parte, puede aumentarlo al no tener que triturar la mena para su concentración ulterior. Por otra, puede rebajar notablemente su valor si, por el contrario, lo que se necesita en el tratamiento subsiguiente es mena gruesa, como p. e., en el caso de una mena ferrífera que no necesita concentración y es destinada directamente al alto horno. En este proceso siderúrgico se prefiere con mucho el mineral grueso, que deja lugar para el paso del aire, y no la mena fina, que atasca los tragantes y pasos de aire, reflejándose esto, naturalmente, en el precio que se paga por cada una de las clases de mena.

Así es que, en la cubicación de un criadero, es necesario tener en cuenta este factor (granulometría) en función de la valoración del criadero.

##### c) *Cubicación química*

No es necesario encomiar la importancia de la cubicación química de un criadero. Se trata de conocer la cantidad de elementos químicos que contiene como relleno el sólido geométrico abstracto cuyo volumen hemos dado en metros cúbicos.

##### z) *Cubicación química por elementos químicos.*

Los elementos químicos contenidos dentro del criadero constituyen la razón por la cual se trata de arrancar, extraer, beneficiar y transportar la mena del mismo. Es, por consiguiente, el motivo principal de toda inversión económica de la investigación y subsiguiente explotación. De ahí la importancia capital que tiene la cubicación química de un criadero.

Pero los elementos químicos, dentro de un mismo criadero, suelen variar cualitativamente y, ante todo, cuantitativamente. Los criaderos no suelen ser completamente homogéneos en estos dos aspectos. Pueden aparecer elementos químicos nocivos, y el elemento químico primordial o los accesorios (piénsese en la galena argentífera) varían de punto a punto en cantidades aprecia-

bles. De ahí procede una de las más graves dificultades que tiene el desmuestre racional y correcto de un criadero.

Pasemos de lo conocido a lo desconocido. En una factoría siderúrgica extranjera, en el almacén de menas había compartimentos, de los que cada uno encerraba dos mil toneladas. Después de largas horas de conversación con el desmuestrador, que llevaba allí más de catorce años, me confesó que, según tomara las muestras (mineral grueso, mediano y fino), podía hacer cambiar el análisis de esas pilas en más de diez puntos de hierro metálico. Luego en sus manos estaba el que se rechazara tal o cual partida de mineral.

Y a propósito de la heterogeneidad química de las menas de los criaderos, recordemos el caso de los manganesos de Huelva. En un frente determinado en explotación, en contacto con fajas de 40 cm. muy ricas en carbonato (42 por 100 de Mn), había unas vetas de 2 cm. de silicato de manganeso con el 18 por 100 de Mn entrelazadas con el carbonato rico, y esto se repetía transversalmente, a lo largo y en profundidad de las mineralizaciones. La ley mínima aceptable era entonces el 38 por 100 de Mn en la mena. No se podía pensar en concentración de la mena por ser difícil en sí y, principalmente, por ser muy cara.

### 3) *Cubicación química por especies minerales.*

Existen casos en los que no es suficiente la determinación de los elementos químicos. Tenemos necesidad de conocer las especies minerales que forman. Este es el caso de las menas magnéticas del Suroeste de España. Puede existir un criadero cuya mena férrica dé el 60 por 100 de hierro metálico y, sin embargo, por contener más del 0,1 por 100 de azufre, no sea explotable. Esto es debido a que la concentración y eliminación de la pirita diseminada que contiene esa mena ferrífera hematítica, que teóricamente puede hacerse, es demasiado cara en la práctica y, por consiguiente, es imposible.

Si, por el contrario, encontramos menas ferríferas, cuyo contenido en hierro sea tan sólo del 35 por 100 o algo inferior y tengan, p. e., más del 5 por 100 de azufre, esta mena es comercial, pues, en condiciones normales, se podrá concentrar magnéticamente y obtener un concentrado magnético de alta ley en hierro metálico; el rechazo de la concentración magnética se habrá enriquecido en azufre, pudiéndose dar el caso de que se le pueda considerar como mena de azufre.

### d) *Cubicación económica*

Este aspecto de la cubicación se puede expresar de dos formas por lo menos. En una de ellas, su sentido es que no se podrá gastar en la cubicación total de un criadero más que una cantidad determinada de dinero, o también

se puede entender en el sentido de que lo importante es determinar o cubicar el orden o el límite inferior de mineral que pueda soportar sin pérdida una inversión económica determinada para la explotación y demás operaciones subsiguientes, hasta poner en puerto o fábrica sidero-metalúrgica la mena preparada.

En cuanto el primer aspecto o forma está claro que, si el beneficio por tonelada de la mena ha de ser, p. e., diez pesetas en un criadero determinado, es lógico que no se podrá gastar más que una parte de este beneficio en la cubicación de ese criadero. Lo que sí se deberá hacer es establecer un cubo mínimo, que, a razón de diez pesetas de beneficio por tonelada, sea capaz de sufragar la inversión de, p. e., mil millones de pesetas que se prevé han de costar las instalaciones y maquinaria necesaria para hacer frente a la explotación, tratamiento mineralúrgico y posterior transporte a puerto o fábrica metalúrgica o siderúrgica.

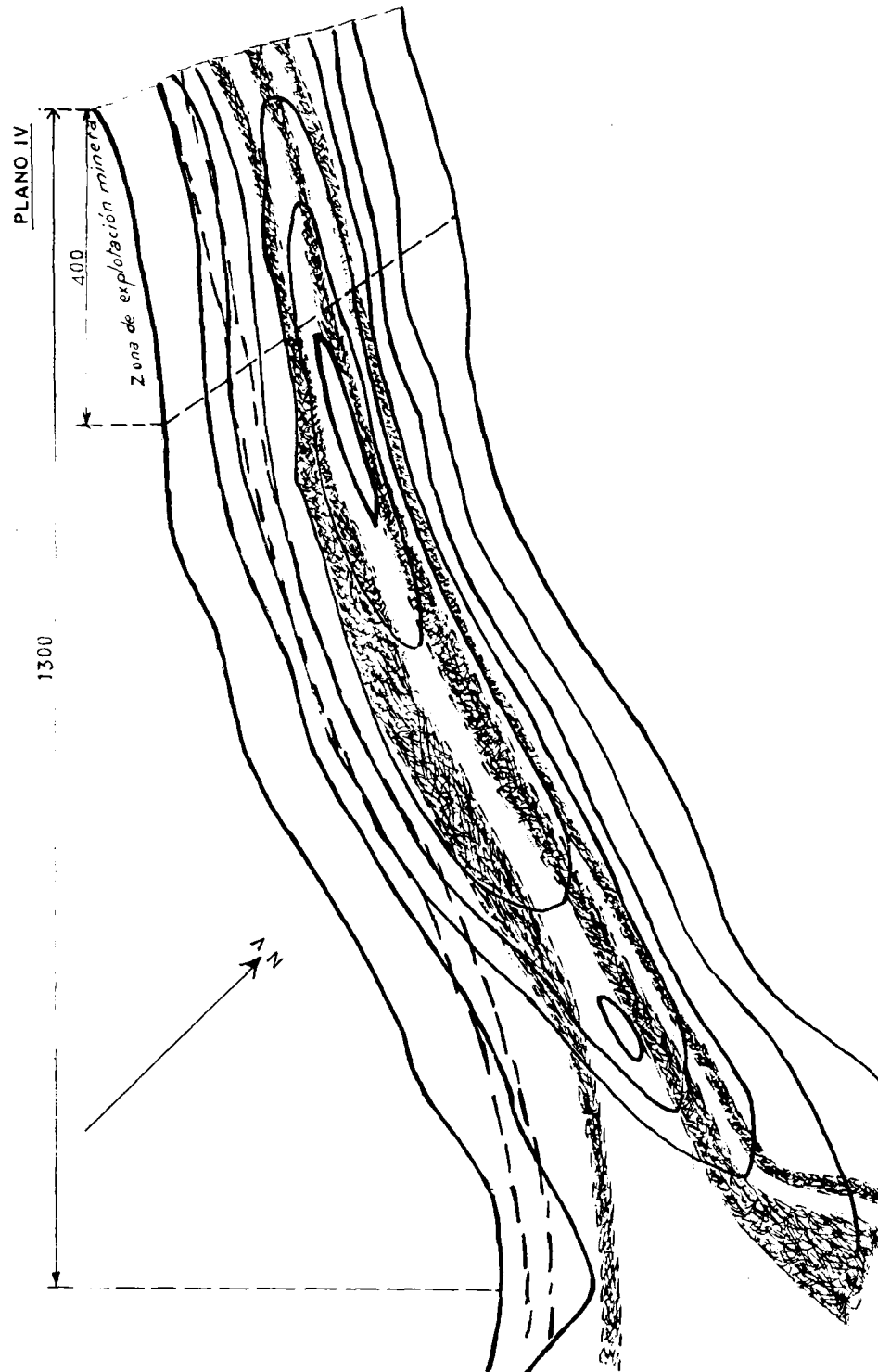
### e) *Criterios seguidos*

Este es el aspecto que ha presidido la investigación de minerales ferríferos del Suroeste de España. Hemos procurado demostrar la existencia de un cubo de menas ferríferas suficientes para hacer frente a las cuantiosas inversiones necesarias para poner aquellos criaderos en marcha. Sabemos ya que hay bastante cubicación para ello, y aún queda mucho por investigar en esos mismos lugares que han sido objeto de esta primera investigación preliminar. En su día se demostrará felicitosamente que la cubicación total es muy superior a la que damos como mínima para asegurar la inversión económica necesaria.

Este es el criterio que hemos seguido y le hemos impreso a la investigación de menas ferríferas en el Suroeste, precisamente en función de la parvedad de la asignación recibida para efectuar la investigación total. No se podía realmente hacer otra cosa y se han alcanzado, gracias a Dios, los objetivos señalados.

### I) **Detalles de la cubicación efectuada en la parte estudiada de los criaderos investigados (Mina Cala y Coto San Guillermo, Sierra de El Pedroso).**

Una vez dicho lo que antecede, aun cuando esté todo ello bastante condensado, cúmplenos hablar algo de la cubicación de los criaderos investigados.



Planta Mina Cala.  
Esquema.

1.º *Cubicación fundada en la comprobación de la investigación realizada en Mina Cala.*

A) *Generalidades.*

La Mina Cala se halla ubicada junto y al Sur del pueblo denominado Minas de Cala, situado a su vez a unos 5 kilómetros al Sur del pueblo de Cala, en la provincia de Huelva. El pueblo de Cala se encuentra en la carretera de Sevilla a Badajoz por Fregenal de la Sierra y Jerez de los Caballeros. Desde la Mina Cala al puerto de Sevilla hay unos 91 kilómetros por carretera. Al puerto de Huelva por Fregenal de la Sierra, que dista por carretera 51 kilómetros de la Mina Cala, hay además 132 kilómetros de ferrocarril (Renfe), que comprende el recorrido de Fregenal a Huelva. Esta línea de la Renfe de Zafra-Huelva fue construida a fines del siglo pasado por la razón social Sundheim y Doetsch.

Cala dispone hoy de energía eléctrica de la red de la Compañía Sevillana de Electricidad y prácticamente nace allí el arroyo de La Herrería, afluente de la famosa ribera de Cala.

Geográficamente se encuentra la Mina Cala dentro del corazón de la agreste Sierra Morena, constituyendo una loma pronunciada de unos 250 metros de desnivel con el arroyo de La Herrería, que la limita por el Norte. Tiene esta loma una longitud de unos 1.500 metros, que se prosigue varias decenas de kilómetros, tanto en dirección Noroeste como hacia el Sureste. La loma de Cala está cortada hacia Poniente por la ribera de Cala, que, en su inflexión, corta la estratificación, y hacia Levante está limitada por un collado.

En la parte de Poniente afloraban los minerales de hierro que fueron objeto de explotación a principios de siglo, construyéndose un ferrocarril minero que unió el criadero con el puerto de Sevilla. Hoy en día está levantado este ferrocarril, y sólo queda la explanación y las obras correspondientes.

La geología de la loma comprende rocas de edad cambriana, en parte, al parecer, recubiertas por rocas devonianas. Existen afloramientos graníticos y también areniscas, pero en ningún caso arcosas, como algún afamado extranjero afirma.

Bajo el aspecto minero, las explotaciones han puesto de manifiesto dos paquetes de alternancias de menas ferríferas con pizarras y horizontes calcáreos más o menos impregnadas de magnetita. Una, la más septentrional, de unos 90 metros de potencia, seguida de otra meridional con 130 metros de potencia.

Todas las labores realizadas no han llegado al plano vertical que, en dirección NO-SE, contenga la cresta, o mejor, el espinazo de la loma. Las anti-



guas labores no han rebasado los 100 metros de profundidad vertical contados desde la cresta (Véanse planta esquemática y corte vertical esquemático, planos 4 y 5).

La mena consta principalmente de magnetita y de un fajeado de piritita y calcopiritita. En la superficie se encontraba como mineral una hematita de alta ley en hierro metálico.

Extraídas las menas menos sulfurosas, se pararon las explotaciones en tiempos de la Primera Guerra Mundial. Desde entonces ha estado detenida la explotación, hasta que pasó a manos de Minera del Andévalo, S. A.

La parte que se encuentra actualmente en explotación se extiende exclusivamente a los 400 metros de Poniente, en su parte superior (véase la planta esquemática plano 4). En el plano se han representado los dos paquetes que, interstratificados arrumban NO.-SE. y buzan alrededor de 80° al NE. Se ha señalado también el tercer paquete más meridional, que sigue al segundo en dirección Sur. La existencia de este paquete ha sido demostrado en profundidad por los sondeos inclinados (C... y C...). Este último tercer paquete que corre prácticamente a lo largo del espinazo de la loma y pegado a él, y hasta el comienzo de la solana, arrumba hacia el Sur, contrariamente a los dos paquetes en explotación, una vez llegado al collado que limita la loma de la Mina Cala por Levante, mientras que los otros dos paquetes conocidos lo hacen al NE. La probable razón de este fenómeno radica en la intrusión de un macizo de roca ígnea, oculto en este sitio, pero marcado por los efectos térmicos visibles en las rocas suprayacentes en dirección Este. El macizo ígneo, alargado y de un espesor de un centenar de metros, aflora a una distancia de casi un kilómetro del collado, en un cerrito que cierra el valle que separa a los paquetes en explotación del tercero que no ha sido aún investigado propiamente.

Volviendo nuevamente a hablar de la loma de la Mina Cala, es conveniente fijarse en el corte esquemático vertical (plano 5). En la solana de la loma se encuentran fuera de duda unos tímidos afloramientos, probablemente relacionados con horizontes calcáreos. Estos deben de representar las cabezas de otros paquetes de mena ferrífera que, en número de tres, han sido señalados en ese corte esquemático. Asimismo, en el valle meridional existen afloramientos claros relacionados con estratos calcáreos. Se trata, pues, de cinco posibles paquetes de menas ferríferas que deberían ser investigados. En el corte esquemático vertical (plano 5) se ha señalado la prolongación, reducida y punteada hacia el Sur, del socavón nuevo en perforación, de dimensiones 5 m. x 8 m., con objeto de conocer el valor que se les pueda dar a todos estos paquetes mineralizados. También será preciso hacer algunas perforaciones inclinadas al Norte, una de las cuales se ha señalado en el esquema de referencia.

Una vez expuestas estas líneas generales, pasaremos a explicar las cubicciones.

## B) Cubicación.

Dos van a ser las maneras de llegar a una cubicación de la Mina Cala. Ambas, naturalmente, enfocadas en lo esencial, según los principios expuestos en la introducción. Pretendemos exclusivamente dar una cubicación o, mejor dicho, un orden de magnitud mínimo suficiente para poder operar industrialmente con cierta tranquilidad, pues siempre la base de una industria minera (conditio sine qua non) es que haya suficiente mineral de calidad conocida para hacer frente a las inversiones, que hoy en día son más que nunca muy fuertes.

La primera manera consistirá en tomar como base el mayor de los dos paquetes conocidos en su aspecto minero y seguir su corrida desde el extremo occidental hasta el oriental, estimando su cubicación, fundándose primordialmente, para ello, en el resultado de la campaña de sondeos.

La segunda manera consistirá en ir de lo conocido a lo desconocido. Es decir, hacer una cubicación de la parte en explotación, prolongándola en profundidad mediante los sondeos efectuados. Luego, una vez obtenida esta cubicación de la parte del criadero en explotación, y fundados en el resultado de la campaña de sondeos, pasar a los 900 metros restantes de corrida de prolongaciones en dirección Levante del criadero conocido por las explotaciones mineras.

A continuación se discutirán brevemente los resultados.

I. *Primera manera.*—Se cubica prácticamente el segundo paquete, o sea, el central, según los datos de la campaña de sondeos.

Ya hemos indicado precedentemente que se conocen hasta ahora dos paquetes mineralizados en las explotaciones mineras que se llevan a cabo en el extremo de Poniente de la loma de la Mina Cala.

El más potente es el segundo o central, que ha sido el que hemos investigado prácticamente al no poder hacer mayores inversiones en la campaña de sondeos.

Este paquete múltiple presenta una anchura media de 130 m. y su mineralización varía entre 50 m. y 90 m. Tomamos para el cálculo una potencia media de 70 m., y la densidad, después de haber efectuado docenas de ensayos, la estimamos como igual a 4. Consideramos la longitud de las mineralizaciones de este paquete como de 1.250 m., o sea, desde el extremo Poniente hasta más allá del perfil del sondeo C-8.

En cuanto a la profundidad que alcanzan las mineralizaciones, a juzgar por los sondeos verticales efectuados, puede muy bien rebasar los 400 m. Tomaremos los 300 m., sin embargo, como límite más seguro. Dado que el valle se encuentra a 240 m. más abajo que la cresta de la loma, parece natural tomar también esta profundidad como dimensión de un sólido para hacer una

cubicación. Por ello proponemos dos variantes de la cubicación que nos ocupa:

1.ª Variante (hasta el valle).

— Longitud: 1.250 m.

— Potencia: 70 m.

— Profundidad: 240 m.

— Densidad: 4.

La profundidad de la mineralización la tomamos desde la cresta (cota 720) hasta la del valle (cota 480), o sea, 240 m.

La cubicación se obtiene por la multiplicación de  $1.250 \text{ m.} \times 240 \text{ m.} \times 4 = 84$  millones de Tm

2.ª Variante (hasta la profundidad máxima reconocida).

— Longitud: 1.250 m.

— Potencia: 70 m.

— Profundidad: 390 m.

— Densidad: 4.

La cubicación será como se sigue:  $1.250 \text{ m.} \times 70 \text{ m.} \times 390 \text{ m.} \times 4 = 136.500.000$  Tm.

II. Segunda manera.—Partiendo de lo conocido a lo desconocido.

a) Cubicación de la parte en explotación.—Cuatrocientos metros de corrida.

La cubicación de los 400 metros occidentales de la loma de la Mina de Cala ha sido objeto de estudio detallado por nosotros y por técnicos enviados por empresas extranjeras muy prestigiosas. No es este el momento de reseñar con detalle cada uno de los resultados de estos estudios. Tomamos e hicimos nuestra la cubicación de tres millones quinientas mil toneladas dadas por uno de ellos. Admirados todos nosotros de la exigüedad del resultado de prolijos estudios y datos obtenidos en la misma mina, se pudo comprobar que el técnico extranjero, acostumbrado a operar con pies y no con metros, había tomado por pies lo que eran metros. Así las cosas, hay que multiplicar por 27 (pues se trata de volúmenes) la cubicación consignada por este técnico extranjero y se obtienen  $3.500.000 \times 27 = 94.500.000$  Tm.

Este cubo de mena magnética se refiere al volumen mineralizado desde la cresta (cota 720) de la loma de la Mina Cala hasta la cota de 480 metros, o sea, al encerrado en 240 metros de altura. Pero nosotros lo extendemos a los 390 metros de profundidad. Incluye, como es natural, los dos paquetes de mineralizaciones de que se ha hecho mención anteriormente.

b) Cubicación de las prolongaciones orientales del criadero (los restantes 900 metros de corrida).

Con objeto de imprimir a esta explicación la mayor claridad posible, es

conveniente dividir los 900 metros de corrida en dos partes. La primera comprende los 500 metros centrales del criadero total de la Mina Cala. La segunda aún los 400 metros restantes, que constituyen el extremo oriental del mismo.

El resultado de la campaña de sondeos ha puesto de manifiesto que, en la parte central del criadero, o sea, en los 500 metros centrales, existe un cierto aumento de las mineralizaciones cortadas en el paquete meridional y más potente de los dos conocidos en las explotaciones mineras del extremo occidental de la Mina Cala. Sin embargo, quedará probablemente por esterilización local debido a intrusión de rocas ígneas. Ya hemos hecho notar que el paquete septentrional no queda cortado suficientemente en esta campaña de sondeos debido, precisamente, a que comienza a cuajar a unos 30 metros por debajo de la superficie donde se emplazaron las torres de sondeos inclinados.

Juzgamos prudente el asignar a esta zona de enriquecimiento del criadero la misma cubicación que a la zona occidental del mismo, que se ha podido cubicar esencialmente con criterios mineros, o sea le adjudicamos 94 millones de tm.

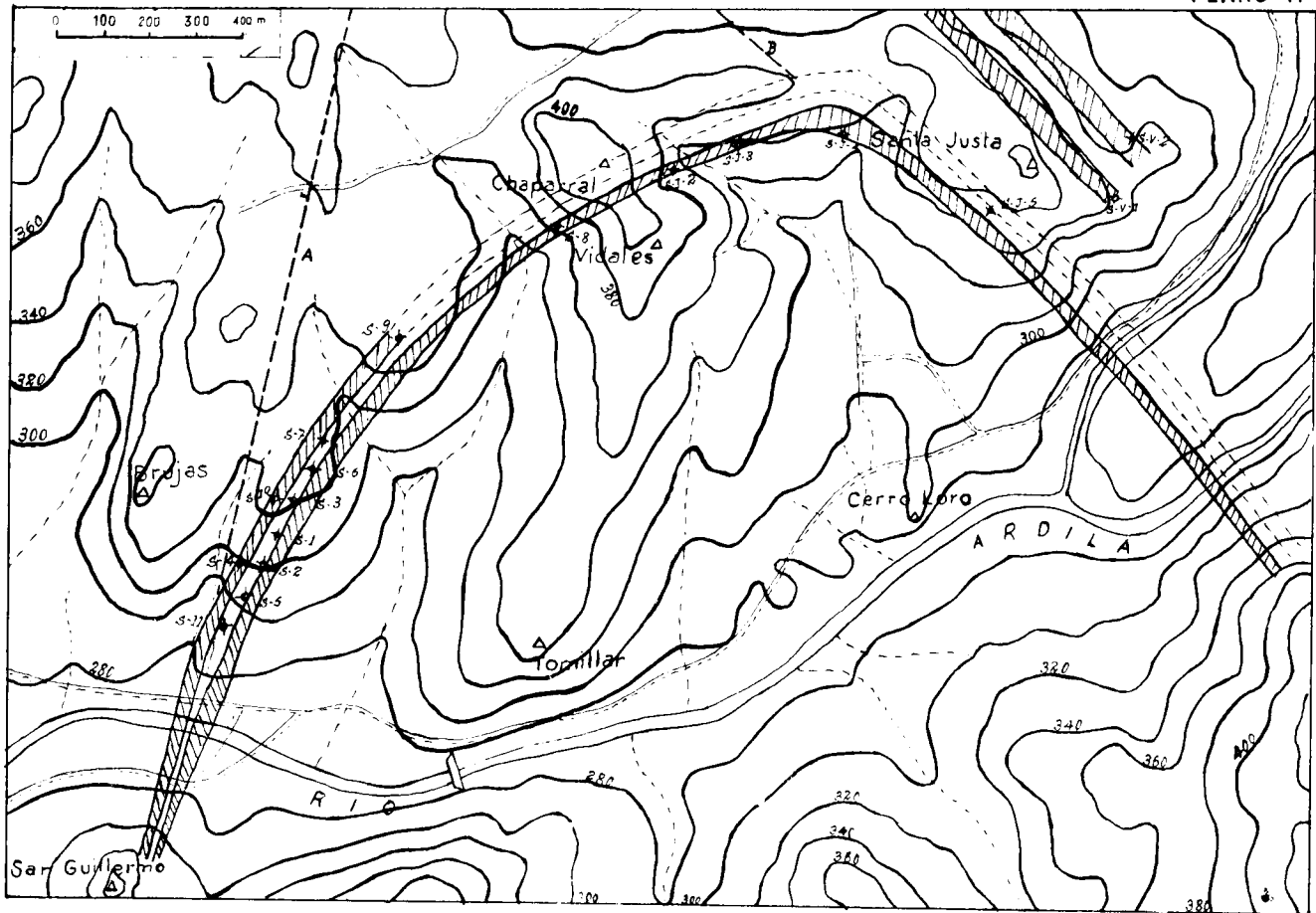
Por último, nos queda por hablar del extremo oriental, con una corrida de 400 metros, en el que las capas mineralizadas se ensanchan algo más. Pero, dada la proximidad a la gran intrusión de rocas ígneas que dobla al paquete, procedemos cautamente y con criterio de restricción, admitiendo por ahora la mitad de la cubicación que existe en la parte occidental, donde las labores mineras, junto con los sondeos, garantizan una cubicación de más de 94 millones de toneladas. Así pues, le asignamos  $\frac{1}{2} 94 = 47$  millones de tm.

En síntesis, la cubicación de las prolongaciones orientales del criadero de Mina de Cala dan por este procedimiento una cubicación que se cifra en  $94 + 47 = 141$  millones de toneladas de mena magnética.

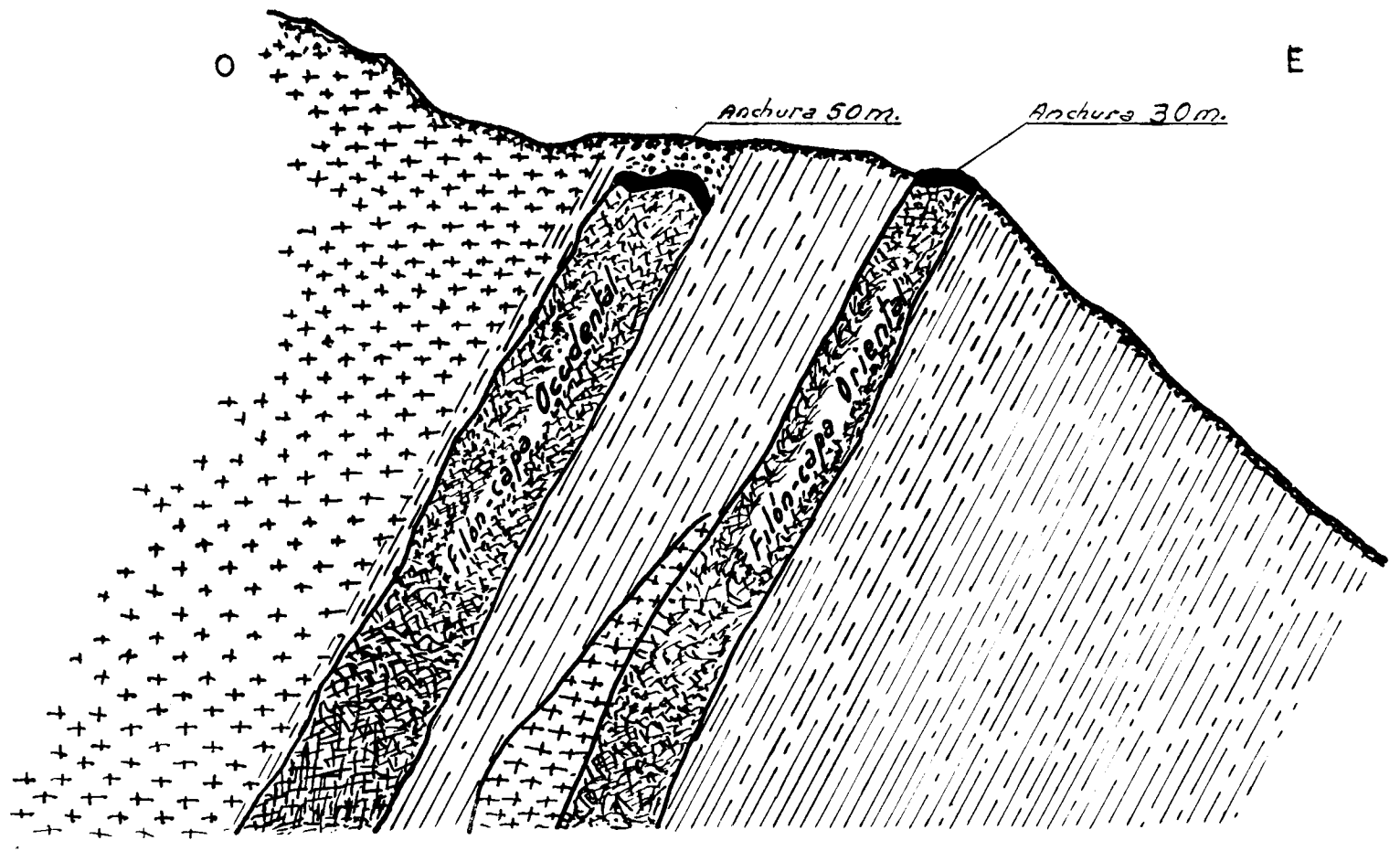
C) Cubicación total.

Por este método, la cubicación que se puede considerar como una cifra no descabellada es la suma de la cubicación de la parte en explotación más la obtenida actualmente, o sea, que asciende a  $94 + 141 = 235$  millones de toneladas de mena magnética.

Tampoco hemos tenido en cuenta el tercer paquete más meridional, cortado por dos sondeos.



Coto Minero San Guillermo. Planta esquemática.



Coto Minero San Guillermo. Corte esquematizado E-W.

2.º *Cubicación fundada en la comprobación de la investigación realizada en el coto San Guillermo con una campaña de sondeos*

A) *Generalidades.*

El coto San Guillermo se encuentra a unos 7 kilómetros al Este de Jerez de los Caballeros (Badajoz), junto al pantano de Valuengo en la ribera del Ardila, afluente del río Guadiana. Dista por carretera y carril unos 10 kilómetros de la estación denominada Los Llanos, en la línea de la RENFE de Zafra a Villanueva del Fresno, y en total unos 220 kilómetros del puerto de Sevilla o del de Huelva.

Dispone de energía eléctrica y es accesible por varias carreteras locales.

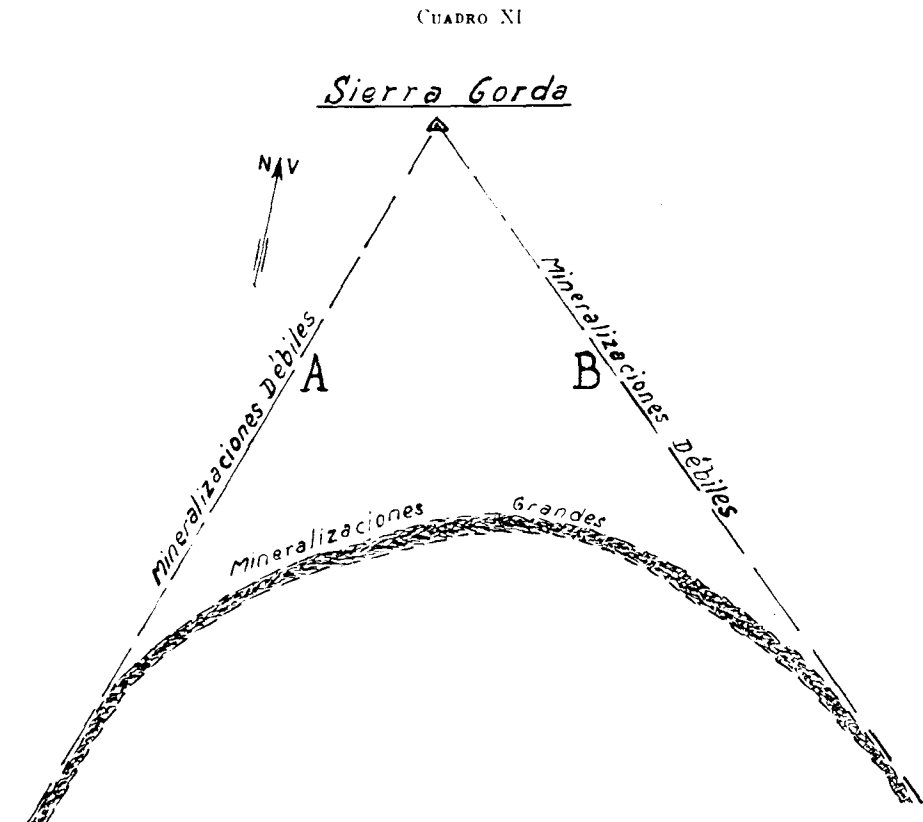
Se encuentra en la margen derecha del Ardila, aun cuando la parte no investigada queda en la margen opuesta, donde estaba la corta de explotación a cielo abierto. Existen diferencias de cotas hasta de 80 metros y las ondulaciones del terreno favorecen la minería a cielo abierto.

Bajo el aspecto geológico, se encuentra en una zona de metaformismo debido al lacolito granítico cercano, que ha engendrado neises, cornubianitas, etcétera, en los alrededores. Las rocas sedimentarias primitivas parecen que se podrán datar como silurianas o cambrianas. Es aún prematuro clasificarlas. Los estudios prosiguen. Entre los minerales característicos de metamorfismo de contacto citamos granates (almandino, grosularia), epidota y escapolitas (diapiros), predominando en la parte occidental del coto de San Guillermo los anfíboles. De ahí proceden los hermosos cristales fibro-radiados y agujas de hasta 15 cm. de longitud de tremolita, que se admiran en algunos museos. Por lo común, están en relación con masas anqueritas hidrotermales de alta temperatura. También existen hermosos ejemplares de actinolita y ferroactinolita de color verde oscuro tirando a negro, o también verde claro. En la parte oriental de este coto hacen ya su aparición masiva las epidotas.

Mineramente se trata de dos filones-capas que están bastante próximos en la antigua corta. Uno de ellos, el situado más al Este, es más silicioso que el otro, que da mejor mineral magnético. Sin embargo, aquél, o sea el filón-capa silicioso, mantiene un nivel de afloramiento casi constante en más de 3 kilómetros de corrida, mientras que el filón-capa oriental ondula un poco en sentido vertical. Por ello se prefirió, repetimos, dada la escasez de dinero, emplear todo el presupuesto en investigar el filón-capa de Poniente, cortando ambos en dos sondeos verticales (SG 3 y SG 4) para demostrar su coexistencia.

En el esquema del coto minero de San Guillermo (en planta horizontal) (plano 6) se han hecho resaltar unas direcciones de fracturas curiosas, cuyo estudio bien podría constituir una o varias tesis doctorales. Se trata de direcciones y fracturas rellenas de mineral (magnetita), que forman una V inver-

tida. El vértice de la uve se encuentra en pleno lacolito granítico de la Sierra Gorda. La rama occidental «A» arrumba al Sur, y la rama oriental «B» al SE. Las verdaderas mineralizaciones de menas ferríferas siguen un arco a casi un kilómetro del vértice de la V (cuadro XI).



Las mineralizaciones afloraban algo y fueron descubiertas a fines del siglo pasado. Posteriormente fueron objeto de explotación, y mediante un cable Pohlig se salvaban los 17 kilómetros que separan este coto minero de la estación de Fregenal de la Sierra, en la línea de la RENFE de Zafra a Huelva. Este cable fue levantado en el año 1950, produciendo un grave daño.

La explotación de este coto minero con su rica magnetita en producción durante bastantes años, con alguna interrupción, hasta la segunda guerra mundial. Terminada ésta, se inició la explotación nuevamente en el año 1955, no habiéndose interrumpido ya.

En toda esta comarca existen criaderos que fueron explotados en parte, pero ninguno de ellos ha sido investigado seriamente hasta el presente. Sin embargo, merece la pena dedicar cierto presupuesto a su investigación minera.

Tampoco debemos de olvidar que sería preciso ampliar la campaña de sondeos en el mismo coto minero de San Guillermo, para fijar la posición del filón-capa occidental y proseguir la investigación minera de varios filones-capa afines de cuya existencia no se puede dudar, por aflorar intermitentemente en diferentes lugares de esta comarca.

#### B) *La cubicación.*

La información la hemos recogido de los sondeos en número de diez dedicados a reconocer este filón-capa, todos ellos verticales menos el sondeo SG 7, que, por equivocación del sondista, se colocó inclinado y sin finalidad aparente fuera del filón.

La cubicación del criadero múltiple de San Guillermo es más sencilla que la del criadero múltiple de Cala, ya que el filón-capa oriental cubicado demuestra una regularidad muy grande en características tales como su potencia, buzamiento y corrida. Esta sufre una acusada inflexión angular más o menos aguda, pero se mantiene constante en cuanto a su potencia y contenido. Incluso el buzamiento de la capa-filón se puede considerar como constante en un recorrido de 2.500 metros. En otros 1.000 metros siguientes, el buzamiento y la potencia varían, pues aquél disminuye mientras que esta última aumenta. O sea, que podemos admitir como longitud de las mineralizaciones la de 3.000 metros. La profundidad máxima alcanzada por los sondeos en este filón-capa oriental es de más de 250. Así el sondeo SG 4 cortó a este filón-capa, como estaba geométricamente previsto, a los 203 metros de profundidad, presentando las mismas características. No cometeremos un grave error al tomar como profundidad de las mineralizaciones los 200 metros. La potencia de las mismas es, por término medio, de 17 metros y tomamos idéntica densidad que la de las mineralizaciones de Minas de Cala, es decir, igual a 4.

La cubicación de este filón-capa oriental se obtendrá, pues, así:

Longitud: 3.000 m.

Profundidad: 200 m.

Potencia media: 17 m.

Densidad: 4

Cubicación:  $3.000 \text{ m.} \times 200 \text{ m.} \times 17 \text{ m.} \times 4 = 40.800.000 \text{ Tm.}$

Queda, ciertamente, por cubicar: 1) el filón-capa oriental por debajo de los 200 m., 2) el filón-capa occidental, y 3) otros que tan sólo han sido localizados, pero no investigados.

1) Con referencia al filón-capa oriental, por debajo de los 200 m. es un problema de perforación: con tres o cuatro sondeos verticales repartidos convenientemente y algún sondeo inclinado, se saldría de dudas.

2) En cuanto al filón-capa oriental que se acuesta sobre el lacolito granítico de Las Brujas, tiende a separarse del filón-capa oriental, norteando visiblemente hasta bifurcarse. Una rama se adelgaza rápidamente y constituye en su prolongación la dirección fractural del brazo occidental «A» de la V invertida que señalábamos anteriormente, y la segunda rama «B» ocupa la posición normal paralela al filón-capa oriental. Esta segunda rama es la que ensancha notablemente en la inflexión y esperamos que, en su día, se pueda demostrar el enriquecimiento en menas ferríferas allí existentes.

3) Existen otros posibles criaderos dentro del coto minero de San Guillermo, al Sur (corta antigua, y a 1 km. al Sur), Levante y NE. del mismo.

Con esta información no es extraño que, como cubicación probable (en particular, en la profundización del filón oriental, los 1.200 metros primeros del filón-capa occidental y cubicación posible en las demás mineralizaciones encontradas), estimemos que puedan existir otros 100 millones más de Tm. de mena ferrífera.

### 3.º *Cubicación de las menas encontradas durante la campaña de investigación minera en la Sierra de El Pedroso*

#### A) *Generalidades*

El Pedroso es un pueblo de la provincia de Sevilla que se encuentra a unos 66 kilómetros al Oeste de la capital siguiendo la carretera más corta. Tiene estación propia en la línea de ferrocarril de Sevilla a Cáceres de la RENFE. Todos los criaderos investigados, menos La Lima y Las Cumbres, comprendido el paraje de Los Labrados, tenían acceso por carretera o carril. Se tuvieron que hacer carriles para la investigación, especialmente en la Sierra de El Pedroso, con el fin de subir las máquinas sondeadoras.

La geografía de la sierra no es difícil de explicar, pues, en resumen, se trata de un testigo en sentido geológico de rocas primarias, algo acostadas al Norte sobre los macizos también primarios, pero totalmente rodeado por rocas ígneas de tipo ácido. Sobre su solana, y prácticamente ya en el llano, se encuentra el pueblo de El Pedroso. La diferencia de cota llega a valores de cerca de 300 metros de desnivel. La sierra arrumba prácticamente de NO. a SE., y en ella la erosión ha impreso su sello dejando las cotas más altas a favor del extremo occidental, que aparece en el conjunto de la Sierra algo separado del resto cuando se ve la Sierra desde el Sur.

En su aspecto geológico, la Sierra del Pedroso consta de un conjunto de rocas primarias (pizarras, areniscas, calizas, etc.) y rocas ígneas intrusivas. Según el insigne Ingeniero de Minas Sr. Carvajal, forman sensiblemente un sinclinal elevado. Así se explica que en el sondeo núm. 2 se encontrara agua

potable a esa altura, que era algo surgente dentro del sondeo. Interestratificadas entre estas rocas se encuentran lechos de pirita, de pirita finamente espolvoreada con magnetita, hidróxidos silicatados de hierro en potentes estratos y, finalmente y en profundidad, abundancia grande de magnetitas de grano fino y buenas de concentrar.

Como la campaña actual de sondeos se redujo a hacer unas ocho perforaciones de tanteo y, por otra parte, a pesar de existir labores mineras, éstas sólo son superficiales y no han cortado la magnetita, resulta harto difícil hacer una cubicación. Sin embargo, no podemos errar en manera alguna si le asignamos al total de la Sierra de El Pedroso la cantidad de 30 millones de toneladas probables en la actualidad, y 100 millones posibles. Esperamos poder volver a investigar pronto esta Sierra algo más detenidamente, y entonces podremos comunicar algunos resultados con mayor precisión.

B) *Cubicación.*

En los presentes momentos de la Sierra de El Pedroso, 30 millones probables; posibles, 100 millones.

J) **Discusión de las cubicaciones.**

Dos son los criaderos múltiples cubicados: Mina de Cala y coto minero de San Guillermo. Accesoriamente, también la Sierra de El Pedroso. Así, pues, trataremos por separado cada uno de los resultados obtenidos.

a) *Mina de Cala*

Vamos en primer lugar a comparar la cubicación que se calcula de acuerdo con la segunda manera, con la que se consigue cubicando el segundo paquete, o sea el central, conforme a las normas establecidas en la primera forma.

*Cubicación actual, probable y posible.*

Según las normas seguidas en la segunda manera, obtenemos como cubicación total, 235 millones de toneladas y 136 millones de toneladas de cubicación para la segunda capa mineralizada. A esta última cantidad habría que sumar la cubicación del primer paquete, o sea, el septentrional, que se podría

calcular, a juzgar por lo que se observa en la parte del criadero en explotación, como mitad del segundo paquete cubicado, o sea, 68 millones que, sumados a los 136 millones cubicados, arrojan un total de 204 millones de toneladas totales.

Al comparar esta cifra, conseguida por criterios diferentes, con la que se obtiene como cubicación total del criadero por la segunda manera, se observa que difieren en 30 millones de Tm. aproximadamente.

Se deduce, pues, que la cubicación total se halla alrededor y por encima de los 200 millones de toneladas al sólo cubicar los dos paquetes de mineralizaciones que contienen el criadero múltiple de Cala.

Esta cubicación puede desglosarse de la siguiente manera: cubicación actual (tres dimensiones conocidas) y cubicación probable (dos dimensiones conocidas y la tercera más o menos cierta).

Como cubicación actual de la Mina Cala, podemos afirmar que existen más de sesenta millones de toneladas desde la cresta (nivel del valle) hasta los 240 metros de profundidad, pues aquí nos ayudan a hacer dicha cubicación las amplias labores mineras existentes, así como los sondeos efectuados en esta zona.

Por consiguiente, como cubicación probable nos quedará  $235 - 60 = 175$  millones de Tm.

Si ahora, y por deseo de seguridad en la cubicación, aplicamos un coeficiente de seguridad y reducción, p. e., un 25 por 100, este coeficiente ha de referirse tan sólo a la cubicación probable, ya que la parte en explotación está reconocida en su mayor parte. Por ello, obtendremos la cubicación probable reducida deduciendo de la cubicación probable simple la cuarta parte de ella, o sea,  $175 - (175 \times \frac{1}{4}) = 175 - 43,75 = 131,25$  millones de toneladas.

De ahí que la cubicación de la parte investigada de la Mina Cala queda en la forma siguiente:

Cubicación actual ... ..	60,00 millones
Cubicación probable ... ..	131,25 millones
Cubicación total ... ..	191,25 millones

Teniendo bien en cuenta lo relativamente poco que se ha investigado el criadero múltiple de la Mina Cala, y según el corte esquemático vertical (plano 5), es presumible y seguramente no muy lejano de la realidad que exista allí por lo menos otro tanto. Por ello afirmamos que la cubicación posible de la Mina Cala es de 190 millones redondeando la cifra que arroja la cubicación total anteriormente expuesta.

### Coefficiente de reducción e intrusiones ígneas.

Contestando a la pregunta del por qué se hace una reducción tan fuerte del 25 por 100 de la cubicación, se responde que el fundamento se encuentra en las intrusiones de rocas ígneas existentes y cortadas en dos de los sondeos de la Mina Cala. Este coeficiente es, sin duda, grande y probablemente muy superior a la esterilización originada por las intrusiones ígneas que cortan al criadero. Esta esterilización se suele presentar en la región del Suroeste de dos formas, conocidas en la Sierra del Cordel (Burguillos del Cerro, Badajoz) y en Jerez de los Caballeros. Primera: el dique ígneo (granito) corta totalmente la mineralización en profundidad en una anchura de algunos metros. Segunda: el dique ígneo agujerea la mineralización únicamente a un nivel determinado, persistiendo la mineralización por encima y por debajo de aquél. En ambos casos la roca ígnea se enriquece grandemente en anfíboles más o menos férricos, especialmente en hornablanda. Demuestra la digestión de las mineralizaciones férricas la poca viscosidad que tenía la roca ígnea, que ha podido digerir muchas toneladas de mineral formando tan sólo hornablanda. (Tesis doctoral.)

En el caso de Mina Cala, hemos podido comprobar hasta el momento presente que la intrusión de diques ígneos es de la segunda clase, o sea, que éstos han perforado las mineralizaciones dejando por arriba y por abajo las menas sin destruirlas, es decir, agujereando las capas mineralizadas en una extensión mayor o menor.

Como toda esta información concerniente a las intrusiones no es fácil que sea dada por una campaña de sondeos, habrá que esperar, sin remedio, a que las labores mineras lleguen hasta estos lugares. Por ello, y para curarse en salud, hemos elegido un coeficiente reductor igual al 25 por 100. Estos diques ígneos, generalmente transversales, son debidos a las últimas manifestaciones de actividad ígnea de la orogénesis herciniana. En cambio, la intrusión masiva que separa y abre los paquetes mineralizados, anteriormente casi concordantes, pertenece probablemente a una fase inicial de la intrusión magmática, quizá postectónica (F. Vázquez), y a ella referimos la separación divergente del conjunto de los paquetes primero y segundo, que se distancian del tercero y siguientes paquetes meridionales. Véase proyección esquemática en planta (plano 4).

En los recodos de estos paquetes primero y segundo, en la parte oriental de la loma de Cala, existe también un enriquecimiento de las mineralizaciones, hecho observado en los sondeos efectuados en esa zona.

### Probables y posibles mineralizaciones

Queda por hablar del tercer paquete. Ha sido reconocido únicamente por haber sido cortado por los sondeos (C-33 y C-34) y por una pequeña galería junto a la cresta de la loma de Cala. Tampoco han sido investigados en absoluto los tres paquetes posibles de la solana, ni las mineralizaciones existentes en el valle que limita meridionalmente la loma de Cala. En realidad, todas estas mineralizaciones de Cala constituyen un criadero múltiple cuyo espesor, perpendicularmente a la corrida, es de unos 1.500 metros. Insistimos en que estos paquetes mineralizados, reseñados en últimos lugares, han de ser investigados y es de suponer que, a partir de unos 100 metros de profundidad, ofrezcan mineralizaciones buenas de magnetitas (prolongación con sección reducida del socavón nuevo y sondeos inclinados al N.). Ello explicaría las relativamente débiles anomalías magnéticas que aisladamente presentan, emborascadas por las grandes anomalías del criadero superficial de Cala, en actual explotación. En el cuadro XII recogemos las cifras alcanzadas en esta discusión.

CUADRO XII

Cubicaciones del criadero múltiple de la mina «Cala»

Mineralizaciones	Cubicaciones (en millones de Tm.)				
	Paquete de capas	Actual	Probable	Reducida	Posible
1. <sup>a</sup> Septentrional	}	60	175	131,25	—
2. <sup>a</sup> Capa madre o central					
3. <sup>a</sup> Capa (mas meridional, tocada)	}				190
4. <sup>a</sup> .....					
5. <sup>a</sup> .....					
6. <sup>a</sup> .....					
7. <sup>a</sup> .....					
8. <sup>a</sup> .....	Cubicación total:				
		Actual.....	60	millones	
		Probable.....	131,25	»	
		Posibles.....	190	»	

### b) Coto minero San Guillermo.

Como es posible que haya algún corte de mineralizaciones, debido a intrusiones de rocas ígneas, aconsejamos rebajar la cubicación del coto San

Guillermo en sólo un 10 por 100 frente al 25 por 100 en la cubicación de Mina Cala. El motivo parece obvio. El número de sondeos realizados tanto en Mina Cala como en el coto San Guillermo es similar longitudinalmente, aun cuando en este último criadero múltiple estén más separados entre sí. En Mina Cala se han cortado intrusiones de rocas ígneas en dos perfiles al menos, contra ninguno en el coto de San Guillermo. O sea, que, a juzgar por los sondeos efectuados, el filón-capa oriental del coto San Guillermo no está cortado y esterilizado en su corrida de más de 3.000 metros. Pero debemos dar paso a esta reducción prudente con el fin de no excedernos en el optimismo.

Siguiendo este criterio, la cubicación definitiva y prácticamente actual del filón-capa oriental del coto de San Guillermo (que recordamos es muy constante en sus características y del cual se conocen tres dimensiones geométricas) es de  $40.800.000 - 4.080.000 = 36.720.000$  Tm. de mena ferrífera prácticamente actual.

Insistiremos en cómo admitimos o usamos la palabra actual en la cubicación del filón-capa oriental: Se conoce hasta los 200 metros la existencia constante en mineralización, buzamiento y corrida de este filón-capa. Pero hasta tanto que se conozca mineralmente y se haya sacado la última tonelada de las cubicadas, no se tendrá certeza real y objetiva de esta cubicación que damos como actual.

De la cubicación probable y posible del coto San Guillermo podemos decir que el sondeo (SG-9) cortó al filón oriental a más de 255 metros, y que este filón seguía en condiciones normales. Podemos referirnos a las características de este filón tan constante en todo su recorrido y que da, junto con el filón-capa occidental, su compañero, la mayor anomalía magnética encontrada durante toda la investigación geofísica magnética del Suroeste, por lo que lo más probable es que prosiga como mínimo a más de 300 metros de profundidad.

Por otra parte, también es de tener en cuenta que el filón-capa occidental ha sido reconocido por labores mineras que datan de principios de siglo. El contenido en azufre hizo entonces poco rentable su explotación.

En conjunto, podemos afirmar que existe un cubo de mena magnética probable, ya que se conoce la mineralización y las características del criadero, tales como la potencia, corrida, etc., pero falta por saber la profundidad a la que se extienden las mineralizaciones. Este cubo importante, de una más que probable existencia de mineralizaciones, se lo adscribimos al filón oriental en su prolongación a 400 metros de profundidad.

Como ya hemos indicado anteriormente, queda aún por investigar en su totalidad la cubicación de menas posibles contenidas dentro del coto minero de San Guillermo. Grosso modo, las condensamos en cifras del orden de 70 millones de Tm. posibles.

A semejanza de lo dicho en la cubicación de la Mina Cala, recopilaremos en un cuadro las cubicaciones hechas del coto minero San Guillermo (cuadro XIII).

c) *Sierra de El Pedroso.*

Poco conocimiento tenemos en la actualidad aún de estas mineralizaciones para poder discutir las cifras que hemos dado más arriba. En espera de nueva información, las damos por válidas y afirmamos que, en el momento actual, disponemos de 30 millones de toneladas probables de menas magnéticas y 70 millones de toneladas posibles.

*Advertencia.*

El orden de estas cubicaciones ha sido aprobado por técnicos extranjeros, especialistas de primer orden en esta materia. De hecho con humildad no nos haría falta ese espaldarazo, pero nos satisface.

CUADRO XIII

*Cubicaciones del criadero múltiple del coto minero de San Guillermo*

Mineralizaciones	Cubicaciones (en millones de Tm.)			
	Actual	Reducido	Probable	Posible
Filón-capa occidental (hasta 200 m. de profundidad)	40,8	36,72	--	--
Filón-capa occidental (de 200 m. a 400 m. de profundidad)		--	30	--
Filón-capa oriental			--	--
Otras mineralizaciones (Sur, Este, NE.)				70
TOTAL	40,8	36,72	30	70

CUADRO XIV

*Cubicaciones preliminares del criadero múltiple de la Sierra de El Pedroso*

Mineralizaciones	Actual	Cubicaciones probable	Posibles
La Lima	?	30	70
TOTAL		C. probable 30	C. posible 70



## K) Génesis.

### a) Generalidades

No quedaria completa esta relación sin discutir algo acerca de la posible génesis de estos criaderos.

Sin pretender dar la solución real del problema, que probablemente no se podrá fundamentar hasta tanto que se estudien más a fondo una serie de criaderos y se puedan reconocer las características en que coinciden todos ellos, vamos a hacer algunas consideraciones.

La génesis de un criadero es un fenómeno que depende de bastantes variables que han de ser tenidas en cuenta estudiando concienzudamente el criadero con criterios distintos. Uno de ellos es, sin duda, el estudio de la geología estructural. Si este estudio se hubiera llevado a cabo en las masas de pirritas sudibéricas cuando se comenzaba a dar soluciones a su problema genético, no hubieran pasado más de cincuenta años, dando como cierto los sabios que su origen era simplemente hidrotermal o pneumatolítico.

### b) Resumen

En la actualidad, y con referencia a los hierros del Suroeste de España, podemos pensar en una génesis mixta inicialmente sedimentaria, bien simple, bien en relación con el volcanismo cambriano comprobado por los señores Vázquez y Febrel, y sujeta posteriormente a la acción de una metamorfosis pneumatolítica en la cual se formó la mayor parte de las magnetitas que conocemos.

Esta teoría mixta sedimentaria-pneumatolítica como hipótesis de trabajo puede, por ahora, explicar bastantes hechos que se encuentran en estos criaderos, p. e., la forma prolongada de capas no lenticulares, la existencia de hematites como transición de la magnetita a mena menos oxidada, y viceversa, los minerales de skarn, etc.

Intuiciones y teorías no nos faltan. En cambio, echamos de menos monografías concienzudas de una docena de criaderos de esta región; cada una de ellas bien podía valer para una tesis doctoral. Hasta no disponer de esta información, todo cuanto se diga no puede tener más valor que el de una hipótesis.

### c) Discusión

Por separado hagamos resaltar datos a favor y en contra de las teorías genéticas posibles.

## A) Teoría genética pneumatolítica de contacto.

Entendemos por pneumatolisis de contacto el fenómeno de la actuación de los componentes volátiles de un magma sobre las paredes del recipiente rocoso en que están contenidos.

1) A favor de la teoría pneumatolítica, la magnetita estudiada en probeta pulida ofrece la clásica estructura en criba (Sr. Febrel), que es característica de los criaderos pneumatolíticos de contacto.

2) La relación casi constante de rocas carbonatadas, rocas ígneas y magnetita, que se reconoce fácilmente en la superficie del suelo, favorece también grandemente esta teoría.

3) La forma, en casos abultada y lenticular de algún criadero, p. e., el de la mina Navalázaro, favorece también a esta teoría, pues la reacción activa de la roca ígnea sobre estratos carbonatados se ha producido en un espacio relativamente pequeño.

4) La profusión de minerales del tipo Skarn, es característico de la actuación de la pneumatolisis de contacto.

5) Pero en la literatura de criaderos no se citan criaderos múltiples pneumatolíticos más o menos paralelos.

En contra de ella se pueden aducir además los siguientes puntos:

1) La relación casi constante en la superficie terrestre entre rocas carbonatadas, rocas ígneas y magnetitas como producto de esa interacción, existe ciertamente, pero, a juzgar por la evidencia contraria, o sea, que la magnetita se presenta también y en mayor proporción encajada entre pizarras, tal como nos informan los cortes estratigráficos de la campaña de sondeos, nos induce a juzgar que este argumento no tiene demasiada fuerza, sino que se fundamenta en la impresión sensorial más bien que en la realidad de que deba su origen a fenómenos pneumatolíticos. La magnetita interestratificada con pizarras puede observarse en las cortas de la Mina Cala y en la de Navalázaro.

2) En cuanto a la forma lenticular de dimensiones no muy grandes, hay que asentar en que existen determinados y relativamente pequeños lentejones, como son los correspondientes a las minas de San Manuel y Navalázaro junto a El Pedroso (Sevilla), y uno algo mayor, como el de la Mina de Teuler, cerca de Santa Olalla (Huelva). Sin embargo, la gran mayoría de los criaderos existentes o, mejor dicho, conocidos, son alargados y de potencia bastante constante. Así, podemos citar los criaderos de Mina Cala (Huelva), coto minero de San Guillermo (Badajoz) y los próximos a ser estudiados de la Sierra de El Pedroso (Sevilla), que se extienden a lo largo de kilómetros enteros y profundizan más de 400 metros.

3) Por otra parte, en centenares de preparaciones ya estudiadas de aquella región, aún no hemos podido observar la existencia de minerales de flúor

ni de boro. En honor a la verdad, es cierto que conocemos un lugar al Suroeste de El Pedroso, cerca de La Atalaya, donde unas pizarras relacionadas con asomos de mena ferrífera hematítica contienen hasta el 5 por 100 de boro.

4) También es característico de los minerales neumatolíticos puros contener turmalina, algo de casiterita, berilos, topacio, pirrotita, mispíquel, etcétera. En pequenísima proporción se encuentran pirrotita y mispíquel, pero hasta el presente no se ha podido encontrar turmalina (confundida alguna vez en el coto San Guillermo con agujas de ferroactinolita, al verlas en el campo).

5) En cuanto a la estructura en criba de la magnetita estudiada en las probetas, no se nos ofrece duda ninguna. Subsisten, sin embargo, muchas acerca de su generalidad, que quedará disipada cuando, de muy distintos puntos de un mismo criadero, se estudien centenares de probetas. También habría que demostrar que la única manera de formarse la estructura en criba de los granos de magnetita es la de su origen neumatolítico de contacto.

6) La profusión de la facies mineralógica del «skarn» está abundantemente repartida en el Suroeste. Al nivel actual de erosión de la superficie terrestre se ha puesto al descubierto este hecho y, generalmente, no se manifiesta con claridad la existencia de las rocas ígneas agentes de esta facies. Esto nos induce a pensar en una aureola de acción de las rocas ígneas que se extiende a bastantes metros de donde se han introducido. Este fenómeno es indudable, y juzgamos que fundamental para la admisión de la acción neumatolítica.

#### B) *Teoría genética sedimentaria-metamórfica.*

Entendemos por teoría genética sedimentaria-metamórfica un origen en dos fases de un criadero. Es decir, que existió una primera sedimentación seguida posteriormente por una acción metamórfica.

La fase sedimentaria no ofrece dificultad alguna y la podemos entender, bien en relación con el volcanismo cambriano ya probado (Sres. Vázquez y Febrel), bien, p. e., por los medios corrientes de aporte que han dado lugar a otros muchos criaderos, oolíticos o no.

El contenido mineral ha podido variar también. Se ha podido sedimentar carbonato de hierro (siderosa), hematites parda y roja, y magnetita, pirita, etcétera, en función del pH, rE, etc., del fluido depositante.

Una vez diagenitizados los estratos sedimentarios, pizarras calizas, areniscas, dolomías y menas de hierro, y durante la orogenia herciniana, la intrusión de rocas graníticas y dioríticas estableció contacto directo o a través de su aureola metamórfica. Las rocas carbonatadas, como más fáciles de entrar

en reacción con el nuevo ambiente creado por la intrusión, originaron la facies metamórfica del «skarn» y se produjo la transformación de los antiguos estratos ferríferos, dándoles la forma y, ante todo, el contenido actual a la vez que se producían criaderos netamente neumatolíticos con magnetita o hematites.

Naturalmente, las variaciones locales son admisibles en cada lugar, y entre ellas es de considerar la de la Mina Teuler, con crisotilo fibroso, ocupando diaclasas de la magnetita ya consolidada y previamente fracturada.

Esta teoría o hipótesis es sólo instrumento de trabajo, siendo lo suficientemente amplia para dar explicación o solución a todas las dificultades imaginables y responder con tranquilidad a todas las interrogantes que pueda originar la información producto de estudios críticos de alta investigación minera y científica.

Pero en tanto que no se hagan trabajos serios monográficos de cada uno de los criaderos o, mejor aún, de cada una de las variadas y peculiares características que presentan en particular dichos criaderos, que bien merecen conocerse como tesis doctorales, poca variación podrá haber en las posiciones subjetivas de enfoque de la cuestión genética.

No es echar balones fuera ni hacer favor a la teoría simplista de los que afirman que la génesis de un criadero para nada sirve. Estos demuestran una supina ignorancia en esta materia, pues fundamentalmente estos estudios genéticos tienen dos fines, uno científico puro, o sea, el adelanto de las ciencias naturales, y otro práctico. Esta finalidad está clara, pues, conociendo la génesis de un criadero, podemos con mucha mayor facilidad encontrar otros.

Además, la discusión aguza el entendimiento y espolea la investigación, cosa que también sirve para el progreso de las ciencias y satisfacción del que tiene vocación de investigador.

#### L) **Conclusiones.**

En pocas palabras queremos expresar las deducciones principales que se pueden establecer a la vista de los resultados obtenidos. Pero nos permitiremos un resumen histórico-práctico con objeto de dar una visión de conjunto.

##### a) *Resumen histórico-práctico de las actividades ferríferas del I. G. M. E.*

1.º) Descartada la idea de la existencia de grandes masas de menas ferríferas en España, de alta ley en hierro (por encima del 63 por 100) y sin impurezas, pasamos a buscar grandes masas de menas ferríferas concentrables (magnetitas).

2.º) Se investigaron sumariamente las menas magnéticas del Noroeste de España. Se comprobó la gran extensión que tienen las mineralizaciones en aquella región y que prácticamente se trata de menas semifosforosas, si bien magnéticas. Así se vio que, al menos dos grandes empresas (Minero-Siderúrgica de Ponferrada y Vivaldi y Anexas), tenían cubiertos grandes volúmenes de mineral y poseían capacidad más que suficiente para producir cantidades superiores al millón de toneladas de mena anualmente. La conclusión fue buscar nuevos criaderos de magnetita en otras regiones de España y estudiar la desfosforación de las menas del NO. sobre una base técnico-económica.

3.º) Se inició la investigación minera de la región del Suroeste:

a) Se lleva a cabo la reserva para hierro de casi 16.000 kilómetros cuadrados.

b) Se hace la geología de la Hoja número 918 a escala 1:50.000. Santa Olalla de Cala (Sres. Vázquez y Febrel).

c) Se estudian las menas ferríferas (Sres. Febrel y Fernández Becerril).

Se determinan las anomalías magnéticas de la región, centrándolas en varios centros de acción (Sr. Esteban).

d) Se gestiona de la Superioridad un crédito extraordinario que, una vez concedido, se dedica a la campaña comprobatoria de sondeos y labores mineras

4.º) Se comienzan labores mineras fructíferas (Sr. Pérez Regodón).

5.º) Se empieza simultáneamente la campaña de sondeos, perforaciones de tanteo, distribuidos por centros de acción.

6.º) Se concentran los sondeos en Mina de Cala, Coto Minero San Guillermo y Mina La Lima.

7.º) Se comienzan a encontrar abundantes mineralizaciones.

#### b) Conclusiones

1.º) El criterio que preside esta campaña de investigación, de labores mineras y sondeos es doble: Reconocer lo mejor posible la superficie asignada dentro de los centros de acción y conseguir el mayor cubo de mena ferrífera concentrable con el exiguo presupuesto concedido.

2.º) No se trataba, pues, de ubicar totalmente un criadero determinado, ya que no se disponía de los medios necesarios y suficientes, pero era imprescindible obtener una cubicación fundamental, aun con riesgo de ser sólo parcial, para hacer frente a una inversión necesaria en orden a la explotación, concentración, aglomeración y transporte futuros de las menas ferríferas encontradas.

3.º) Los objetivos se han logrado con plenitud. Se tiene certeza de haber

encontrado más de 300 millones de toneladas de mineral magnético concentrable y una serie de promesas de no difícil actualización que, en su día, ofrecerán un cubo de mineral por lo menos similar al hallado en la actualidad. Destacamos en este momento, y en este orden de ideas, los criaderos múltiples probables de la Sierra de El Pedroso, cuya investigación somera es ya inminente gracias a un nuevo presupuesto concedido por el Ministerio de Industria.

4.º) Los resultados de la presente investigación de la región reservada del Suroeste son los siguientes:

a) Se han perforado 72 sondeos, cuyas longitudes suman prácticamente 12.000 metros. Se cortaron en más de 2.500 metros menas férricas concentrables, siendo el rendimiento de la campaña de sondeos en mineral de hierro del 21,8 por 100, o bien, que, estadísticamente, de cada cien metros perforados casi 22 metros cortaron menas de hierro.

b) Se cubican más de trescientos millones de toneladas de mena ferrífera concentrable distribuidas de la manera siguiente:

*Cubicación (en millones de toneladas)*

	Actual	Probable	Posible
Mina Cala .....	60,00	131,25	190
Coto minero San Guillermo .....	36,72	30,00	70
Sierra El Pedroso .....	—	30,00	70
<b>TOTAL .....</b>	<b>96,72</b>	<b>191,25</b>	<b>330</b>
		187,97	330
		} actuales } probables	

c) El rendimiento de la campaña de sondeos ha sido excelente, pues el coste de investigación por tonelada, de 25 millones de pesetas, es, dividido por 300 millones de toneladas, igual a 0,08 pesetas por tonelada.

d) Así, parece evidente que se tiene una base más que suficiente para comenzar las inversiones necesarias para proceder al estudio de la explotación más económica, de la concentración de las menas y subproductos (p. e., del Cu, en la Mina Cala), de su elaboración, aglomeración y ulterior transporte a fábricas siderúrgicas.

5.º) Se ha iniciado sólo la investigación en 12 km<sup>2</sup> de los 16.000 km<sup>2</sup> de la reserva. Se ve claramente que esos pocos km<sup>2</sup> no están, ni con mucho, estudiados a fondo.

Además, de los 16.000 km<sup>2</sup> de la reserva, hay sin duda más de la mitad, o sea, 8.000 km<sup>2</sup>, que merecen estudiarse. Pero sin medios no se puede hacer dicho estudio.

Agradecemos a la Superioridad que haya dispuesto el comienzo de la investigación. De esta suerte se podrá demostrar que la riqueza minera de España, que es extraordinaria, aún existe de verdad y puede llegar a ser un factor decisivo en la economía de la Nación.

#### NOTIFICACIONES

Agradecemos su colaboración a todos cuantos nos han ayudado a la realización de esta investigación minera de dentro y fuera de casa. Así, a la Empresa Minera del Andévalo, S. A., y a todos sus miembros activos, a los que han actuado en los diversos sondeos, y a todo el personal en general que ha tenido que ver con nuestra investigación.

#### RECOMENDACIONES

- 1) En la provincia de Sevilla: Estudio de la Sierra de El Pedroso.
- 2) En la provincia de Huelva: Proseguir el Socavón Nuevo hasta el valle meridional y hacer sondeos inclinados al N. en Mina Cala.
- 3) En la provincia de Badajoz: Investigar el filón-capa oriental del coto minero San Guillermo y las prolongaciones meridionales.
- 3) En la provincia de Badajoz:

#### TESIS DOCTORALES

Los trabajos de investigación realizados han puesto de manifiesto la urgente necesidad de mayores y más profundos estudios. Damos a continuación una lista de los más urgentes y que pueden ser hechos de una manera racional con un solo criterio objetivo. Si se comienza inmediatamente, al cabo de unos tres a cuatro años será posible tener una buena información.

- 1) Estudio del fosfato doble en las menas magnéticas del NO., pág. 14. Aislamiento y su estructura cristalina.
- 2) Estudio de la V de San Guillermo, pág. 62.
- 3) Estudio de intrusiones ígneas que cortan mineralizaciones ferríferas en el Suroeste de España, pág. 68.
- 4) Estudio geológico estructural de la Mina Cala.
- 5) Estudio geológico estructural de la Sierra de El Pedroso.
- 6) Estudio geológico estructural de las Minas Navalazaro y San Manuel.
- 7) Estudio geológico estructural del Coto minero de San Guillermo.
- 8) Estudio geológico estructural de la Mina Teuler.
- 9) Estudio geológico estructural de las Minas de Real de la Jara.

- 10) Estudio geológico estructural del Cerro de Hierro.
- 11) Estudio geológico estructural de susceptibilidades magnéticas de diferentes muestras.
  - a) de diferentes criaderos;
  - b) de diferentes partes del mismo criadero, y
  - c) efectos de pantalla del campo magnético en conexión con el estudio geológico-estructural.
- 12) Estudio geológico estructural de la región minera de Burguillo del Cerro.
  - 13 y sg.) Estudios geológicos y tectónicos de la Sierra Morena en sus últimos 200 kilómetros de longitud hasta la frontera portuguesa, cortados en secciones de 30 kilómetros cada una.

Recibido 16-X-67.

FERNANDO VAZQUEZ GUZMAN

## NUEVAS AREAS DEVONIANAS EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SIERRA MORENA

### RESUMEN

Se pone de manifiesto la existencia de una fauna perteneciente al Eiffeliense en la parte occidental de Sierra Morena. De acuerdo con ello se consideran como devonianas las volcánicas de la Rivera de Huelva.

### SUMMARY

In this paper we outlook the occurrence of Eiffeliense's fauna at West of Sierra Morena. According to it we consider the volcanics of the Rivera de Huelva as being devonian.

### INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente se han venido considerando como silurianos, desde Gonzalo y Tarín, los terrenos aflorantes en una banda sinclinal que, limitada al Norte y Sur por formaciones cambrianas, se presenta en la Hoja 918 (Santa Olalla del Cala), del Mapa Geológico de España.

En el año 1937, Harras Schneider dio a conocer la existencia de un afloramiento del Devoniano (Serie del Verdugo), con potencia de unos 100 metros, en discordancia con el Siluriano y con una fauna de Braquiópodos y Trilobites del Emsiense, es decir, del Cobleciense alto. Con ello se ponía de relieve la presencia de un área devoniana, por primera vez, en la parte occidental de Sierra Morena, pero considerándola de pequeña extensión dentro de la depresión siluriana.

En septiembre de 1966, iniciamos los trabajos de cartografía, estratigrafía y tectónica de la Hoja número 918 del Mapa Geológico de España, a escala 1:50.000.

La presente nota tiene por objeto dar a conocer la existencia de nuevas áreas devonianas al SE. de las encontradas por Schneider.

### AREAS DEVONIANAS

En la región Sur de la Sierra Cucharera, próxima a la confluencia de la Rivera de Huelva y la carretera de Santa Olalla de Cala a Zufre, afloran

calizas de tipo arrecifal que destacan morfológicamente en una formación de pizarras arcillosas y grauvacas, junto con pequeños lechos de lavas básicas. En foto aérea se aprecian perfectamente las alineaciones marcadas por dichas calizas.

Tienen generalmente color gris que pasa a gris-negro localmente, son fétidas, lo cual se reconoce al partirlas con el martillo, y afloran con potencia de hasta 40 metros en el camino de Zufre a Cala, si bien al Sur de la Casa El Rincón se reducen a unos 4 metros para desaparecer definitivamente hacia el Oeste.

Los agentes exteriores, al actuar sobre las calizas, han puesto al descubierto la fauna existente en ellas. (Fotos 1 y 2, Calizas del Cortijo Juan de la Nava). Algunos ejemplares de *Cyathorimus pentagonus?*, Goldf. han permitido datarlas como del Cobleciense superior o Eiffeliense, pero dada la gran abundancia de calizas arrecifales en el Eiffeliense de España las consideramos como de este último tramo.

Es de sumo interés estudiar la relación existente entre la formación a que pertenecen las calizas y la de las volcánitas básicas de la Rivera de Huelva, consideradas hasta nuestros días del Ordoviciense superior, y para ello es fundamental el conocimiento de la tectónica de la región, es decir, de los tipos y formas de pliegues.

En una región donde lo más frecuente es encontrar ramas de pliegues buzando generalmente al Norte, con una pizarrosidad y fallas longitudinales que buzan en ese mismo sentido y son o no paralelas a los planos de pizarrosidad, es difícil determinar la naturaleza normal o tectónica de los contactos, a menos que aparezca, sin lugar a dudas, la relación entre estratificación y pizarrosidad. Por el contrario, si el contacto buza al Sur es lógico considerarlo como normal, aunque no sea visible la relación anteriormente citada.

En el camino de Zufre a Cala, a Levante del cortijo Santanilla, hemos encontrado un afloramiento de calizas fosilíferas devonianas a unos 200 metros al Norte de las volcánitas de la Rivera de Huelva. El tramo comprendido entre ambas está constituido por pizarras arcillosas de color gris, que buzan con regularidad unos  $52^\circ$  al Sur y siguen haciéndolo en el contacto con las volcánitas, tanto en el camino anteriormente citado como en el Barranco del Rombo, donde lo hemos comprobado.

Mucho más claramente hemos visto cómo las volcánitas yacen sobre la formación arcillosa, en un sinclinal perfecto, hacia el kilómetro 11 del antiguo ferrocarril minero de Cala a San Juan de Aznalfarache.

Existen contactos, como por ejemplo, el próximo al kilómetro 19 del citado ferrocarril y el cercano al kilómetro 17 de la carretera a La Junta por Puerto Moral, en que las volcánitas se meten bajo las pizarras, pero el carácter tectónico de los mismos es indudable.

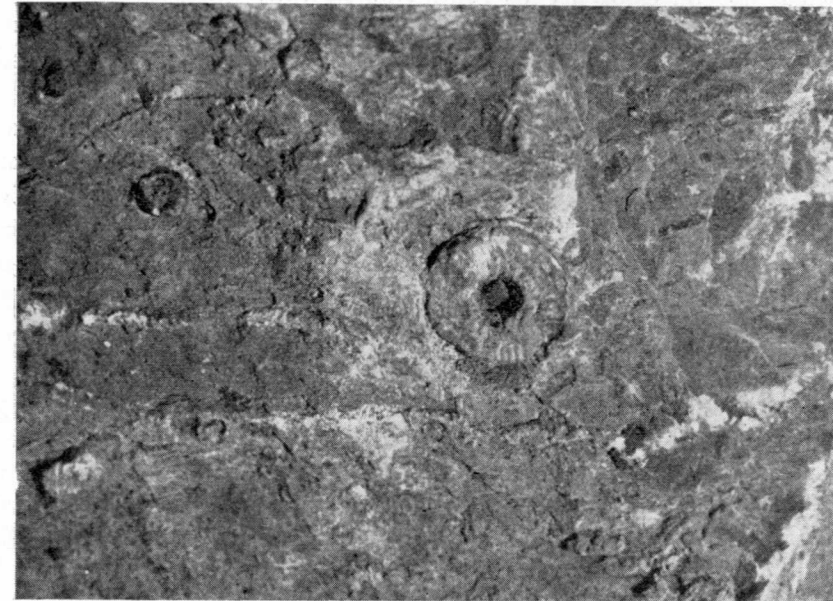


Foto 1. - Calizas del Cortijo Juan de la Nava

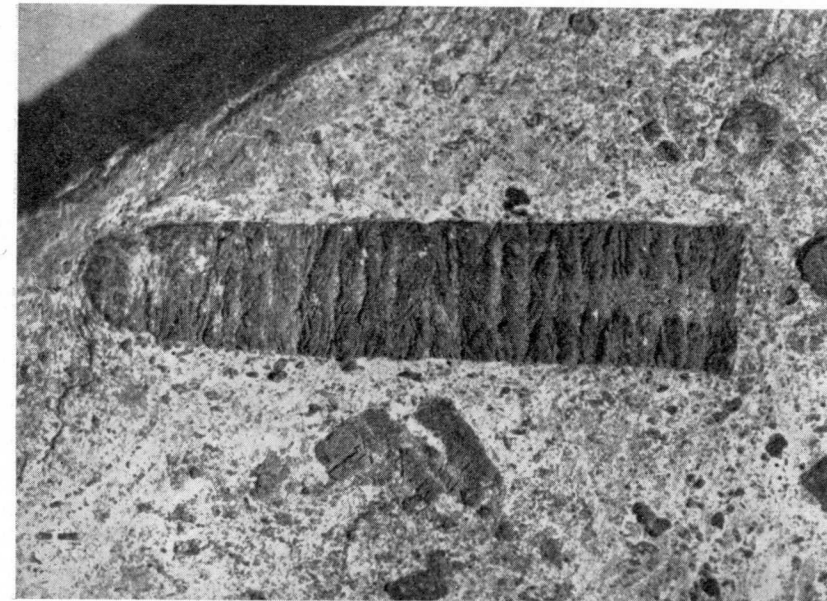


Foto 2. - Calizas del Cortijo Juan de la Nava

De acuerdo con estos hechos consideramos a las volcañitas de la Rivera de Huelva situadas a techo de la formación arcillosa a que pertenecen las calizas del Eiffeliense y, dado el carácter rápido y corto de un episodio volcánico, de la misma edad que estas últimas.

Asociadas a estas lavas básicas se presenta una formación de pizarras de colores vivos y abigarrados, morado y gris verdoso, que consideramos también como del Devoniano medio, pues están íntimamente ligadas a dichas volcañitas y en tramos superiores a ellas.

Queremos hacer resaltar el interés de estas lavas en orden a la datación de terrenos. Por ejemplo, al Sur de Santa Olalla de Cala, cortadas por las carreteras a Zufre y la general a Sevilla, se presentan dos fajas de piroclástico básico con lavas espiliticas que permiten datar a dicha área como del Devoniano. Más aún, como algunas de las muestras tomadas para estudio microscópico están casi totalmente metamorfizadas a causa de las rocas graníticas aflorantes un poco más al Norte, deducimos que la intrusión granítica tuvo lugar en época postdevoniana, probablemente durante la orogenia herciniana. Las manifestaciones volcánicas de piroclásticos y lavas básicas más occidentales se encuentran en Puerto Moral.

Por último, queremos citar la presencia de un conglomerado, de unos 8 metros de potencia, entre los kilómetros 4 y 5 del ferrocarril minero de Cala a San Juan de Aznalfarache, que consideramos como continuación del encontrado por Schneider en la serie de El Verdugo.

Los terrenos aflorantes entre dicho conglomerado y las calizas eiffelienses son objeto de estudio y esperamos para su datación a efectuar el total levantamiento cartográfico de la zona, si bien su uniformidad litológica y relación con los datos aportados anteriormente permiten considerarlos en principio como del Devoniano, aunque sin especificar piso del mismo.

La datación de las calizas ha sido realizada por el señor Quintero en el Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico y Minero de España.

Agradecemos la corrección del presente trabajo a don Tirso Febrel, Jefe del Laboratorio de Petrología del citado Instituto.

Recibido el 14-XII-1966.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BARD, J. P.: *Note préliminaire sur l'âge des terrains de l'Estrate cristalline affleurant au NW. de la province de Huelva (Espagne)*, «C. R. Acad. Sc. Paris», t. 258, núm. 7, págs. 2129-30, París, 1964.  
*Quelques précisions sur la lithologie du «Silurien» de la région d'Aracena (Huelva), Espagne*, «Not. Com. Inst. Geol. Min. Esp.», núm. 83, págs. 93-98, Madrid, 1966.
- GONZALO y TARÍN, J.: *Nota acerca de la existencia de la tercera fauna siluriana en la pro-*

- vincia de Huelva*, «Bol. Com. Mapa Geol. de España», Tomo V, pág. 311, Madrid, 1878.  
*Reseña geológica de la provincia de Huelva*, Idem, pág. 1.  
*Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva*, «Mem. Com. del Mapa Geol. de España.» Tomo 1, 2.ª parte, Madrid, 1887.
- GUTIÉRREZ, M., y HERNÁNDEZ, J. L.: *Notas geológicas de la región septentrional de la provincia de Huelva*, «Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)», 63, págs. 289-297, Madrid, 1965.
- LOTZE, F.: *Einige probleme der Iberischen Meseta, Geotektonische Forschungen*, 1945, «Publ. Extr. Geol. España», Consejo Sup. Invest. Cient., t. V, Madrid, 1950.  
 «Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta», Idem.
- SCHNEIDER, H.: *Das Palaeozoikum im westteil der Sierra Morena (Spanien)*, «Z. Dtsch. Geol. Gessell», 103, págs. 134-135.

FERNANDO VAZQUEZ GUZMAN

## IDEAS DIRECTRICES GEOLOGICO-TECTONICAS DE LA HOJA 918, SANTA OLALLA DEL CALA

El estudio de un yacimiento minero requiere el conocimiento geológico de la región donde se encuentra ubicado en orden a conocer su posición estratigráfica, su tectónica y su posible génesis. De acuerdo con esta idea iniciamos la confección de la Hoja número 918 del Mapa Geológico de España.

Según los autores que han venido trabajando en la región, los sedimentos se distribuyen según dos bandas cambrianas, de dirección aproximada Noroeste-Suroeste, a Norte y Sur de la citada Hoja, confinando al Siluriano los terrenos comprendidos entre ambas bandas. El hallazgo de una fauna de Braquiópodos y Trilobites del Cobleciense superior en una formación de grauvacas y arcillas apizarradas, permitió conocer la existencia del Devoniano en la zona, pero sin delimitar sus contactos.

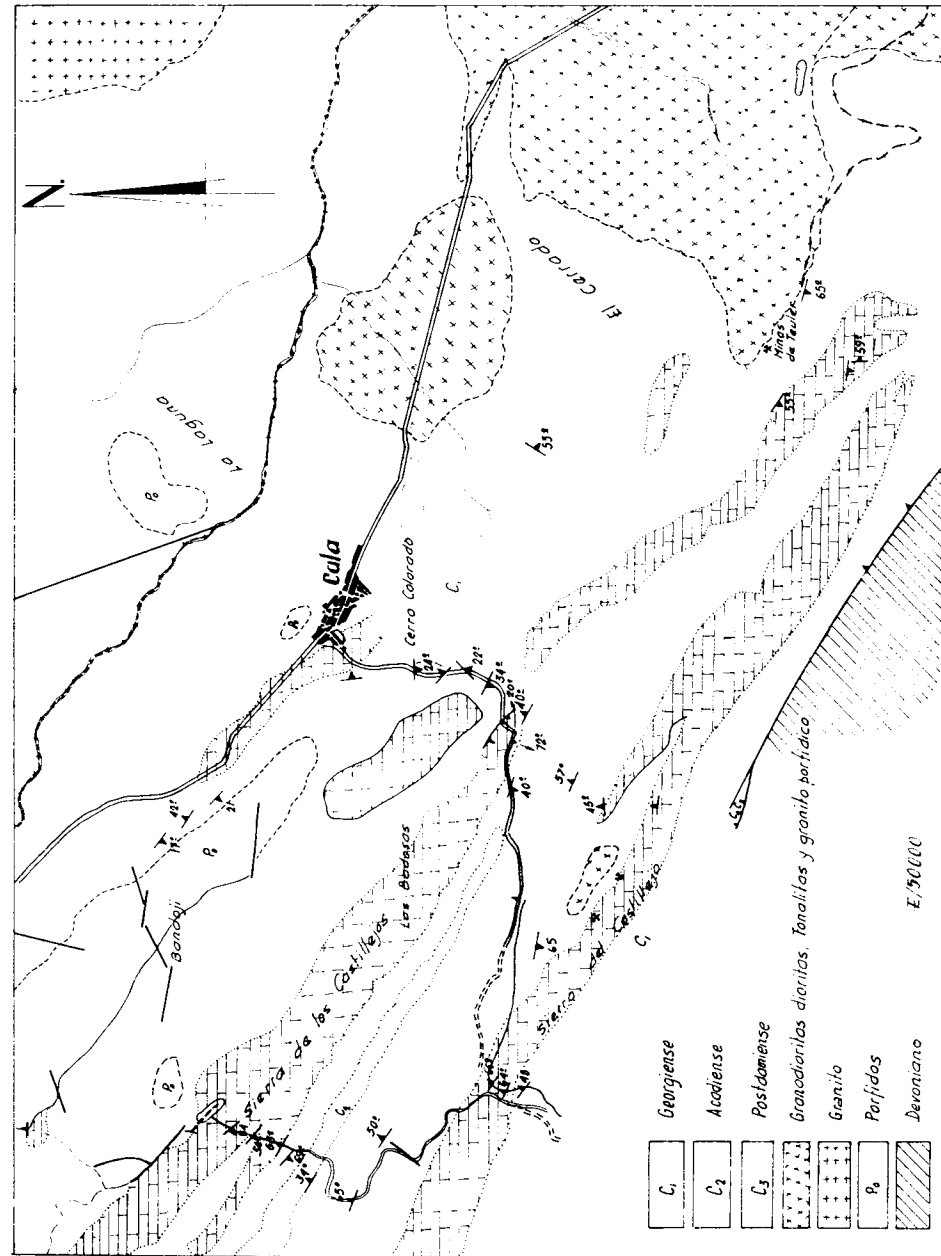
En cuanto a la tectónica se ha considerado generalmente la presencia de las fases sárdica, bretónica y astúrica, con un régimen isoclinal dominante para el plegamiento.

Nuestros trabajos han ratificado unas veces los conceptos tradicionales sobre la estratigrafía y tectónica de la región, mientras que en otras han servido tanto para la datación correcta de terrenos como para la revisión de la tectónica de la zona.

En lo que sigue, nos limitaremos a reseñar de una manera somera los rasgos más salientes sobre la estratigrafía y tectónica de la Hoja de Santa Olalla del Cala, sin entrar en pormenores y con la única intención de centrar en su correspondiente marco geológico la importante minería de hierro que se asienta en la zona de Cala.

Los terrenos más antiguos de la Hoja número 918 pertenecen al Cambriano, que se inicia con una formación de areniscas, pizarras y grauvacas a cuyo techo se sitúan calizas cristalinas y pizarras arcillosas, violáceas, grises y tipo Kramenzel, todo lo cual constituye el Georgiense. Hemos de resaltar la existencia de un volcanismo básico, que se inicia con material piroclástico, en el mismo nivel de las calizas cristalinas. Este volcanismo es poco conocido y sólo contados autores lo citan en el Georgiense de la Península Ibérica.





En nuestra zona de estudio tenemos evidencia del mismo, merced a dos pequeñas coladas situadas en el Suroeste de la Hoja. Su datación ha sido posible gracias a los restos de trilobites encontrados por Lotze, Henke y Schneider, en las pizarras arcillosas inmediatamente superiores a las calizas cristalinas. Nosotros hemos encontrado posibles huellas reptantes imposibles de calificar.

Los últimos tramos, es decir, Acadiense y Postdamiense, están constituidos por pizarras, grauwacas y lavas básicas de tipo espilitico.

Dentro del sistema Cambriano es donde se presentan los mayores asomos de rocas graníticas de cuya descripción minuciosa prescindimos. Se trata de granitos, dioritas, granodioritas, tonalitas, aplitas, piroxenitas, etc., con su cortejo de rocas metamórficas y minerales típicos de metamorfismo de contacto, producido por una variedad color rosa, en tanto que otra gris claro no produce metamorfismo. Las dos grandes minas de la región, Cala y Teuler, se encuentran en relación con rocas graníticas y calizas; en ambas se encuentran rocas y minerales típicos de metamorfismo de contacto. En la primera, granates, epidota, anfíboles, «skarns», etc., mientras que en la segunda predominan las escapolitas, en su variedad de mejonita.

La mina del Teuler es una verdadera masa de magnetita enclavada dentro de rocas graníticas y con un caballo o enclave de caliza cristalina que evidentemente no ha sido digerido. Parece estar fuera de duda una génesis en relación con la intrusión granítica.

Cuestión más espinosa es la relativa al origen de las magnetitas de Cala. Son evidentes los signos de metamorfismo de contacto debido a una apófisis granítica que aflora inmediatamente al Norte de las calizas de la mina que, a veces, son verdaderos «skarns» y que hacen pensar en un posible origen epigenético de las magnetitas. Sin embargo, el presentarse en capas bien definidas o al menos de mayor enriquecimiento e interestratificadas con las calizas y «skarns», y adaptándose a los pliegues e inflexiones de estas últimas, hacen pensar en un posible origen sedimentario enmascarado por la posterior intrusión granítica. Sólo un estudio concienzudo del yacimiento permitirá salir de dudas; por el momento queremos recalcar la íntima relación entre rocas graníticas y calizas, pues donde hay una mina allí se encuentran invariablemente unas y otras.

El Siluriano, al que tradicionalmente se asignaban los terrenos situados entre las dos bandas cambrianas ya citadas, ha quedado reducido a una faja que corre en contacto con el Cambriano, en la parte Noroeste de la Hoja, de acuerdo con los nuevos datos paleontológicos y tectónicos aportados por nuestro estudio.

Un conglomerado de base, con potencia de unos 100 metros, al que siguen ortocuarcitas con un espesor aproximado de 40-60 metros constituyen el Arenig, base del Siluriano. Al techo se sitúan pizarras grises y negras con

intercalaciones calizas en cuyos tramos superiores encontramos una fauna de graptolites correspondiente al Gothlandés. Seguimos estudiando un tramo que pudiera corresponder al Ordoviciense.

La existencia de una fauna perteneciente al Devoniano inferior y medio han permitido confinar a estos tramos, terrenos hasta el presente considerados como silurianos.

El Devoniano inferior se inicia con un conglomerado de potencia variable, de 12-15 metros, en el barranco del Verdugo (según Schneider), y de 6-8 metros entre los kilómetros 4 y 5 del ferrocarril minero de Cala a San Juan de Aznalfarache. Sigue una formación de gravaucas y pizarras arcillosas con potencia máxima de unos 100 metros.

A techo de esta formación y como continuación de las pizarras arcillosas existe un potente conjunto de pizarras grises oscuras extremadamente finas y con una intensa pizarrosidad.

La realización de un corte por el camino de Zufre a Cala y los posteriores estudios sobre la zona de las Majadas de la Parrita y de las Tres Encinas, nos llevaron a la afirmación de la existencia de sedimentos pertenecientes al Devoniano medio.

El paso del Cobleciense al Eiffeliense lo marca un conglomerado de elementos muy pequeños, junto con un microconglomerado de una potencia aproximada de 10 metros. Este nivel de base se corta en el citado camino y en las trincheras del ferrocarril minero de Zufre a Santa Olalla, junto al Cortijo «El Bezo».

Sigue una formación de pizarras arcillosas grises y gravaucas con intercalaciones, de unos 15 centímetros, de cuarcitas o areniscas en tránsito a cuarcitas. Todo el conjunto tiene una potencia de 60-80 metros.

Al techo de estas pizarras y gravaucas se sitúan calizas fosilíferas arrecifales de cuyo hallazgo y relación con las volcanitas de la Rivera de Huelva damos noticia en un trabajo presentado a estas Jornadas. Estas calizas y las pizarras, gravaucas y areniscas subyacentes, no sólo afloran en la zona donde hemos podido estudiarlas con detalle, sino que por el gran accidente tectónico que supone la falla Zufre-Santa Olalla del Cala, vuelven a presentarse al Sur del batolito granítico de Santa Olalla, donde hemos encontrado de nuevo las calizas fosilíferas entre los kilómetros 2 y 3 de la carretera a Almadén de la Plata, que verticales y con rumbo N. 45° se introduce en la vecina Hoja número 919.

En niveles superiores se sitúa un complejo volcánico (volcanitas de la Rivera de Huelva) que hasta nuestros días ha sido considerado como perteneciente al Siluriano inferior.

Este volcanismo espilitico presenta gran interés minero, pues además de ser origen de mineralizaciones piríticas ricas en cobre, existen en él inter-

calaciones o filones de oligisto que pudieran ser indicios de mineralizaciones interesantes.

Asociadas a estas lavas básicas se presenta una formación de pizarras con colores vivos y abigarrados, íntimamente ligadas a dichas volcanitas. En la base de estas pizarras cuya facies cambia localmente, se presenta a veces gravaucas de colores semejantes a los de aquéllas.

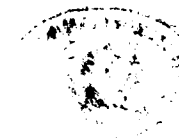
La potencia total de este complejo volcánico-sedimentario es de unos 260 metros, con coladas de 90 metros de espesor máximo, aproximadamente.

En el Suroeste y Sureste de la Hoja se presenta una formación de areniscas, pizarras grises arcillosas y gravaucas, en la que se intercalan coladas de lavas dacíticas-andesíticas y básicas que consideramos perteneciente a los niveles inferiores del Devoniano superior. Dentro de este Devoniano y en la discordancia que supone su contacto con el Cambriano, existen asomos de rocas graníticas.

La tectónica de la región es complicada y la superposición de varios movimientos hace difícil su estudio. En nuestro trabajo «La tectónica de la región de Cala», presentado a estas Jornadas, demostramos la existencia de, al menos, dos ejes de plegamientos en los sedimentos cambrianos. Diagramas estructurales correspondientes a áreas devonianas indican la existencia en ellas de los dos ejes de plegamientos encontrados en Cala. Existen grandes fallas en dirección y sistemas de fallas ortogonales de gran interés y a tener en cuenta en una investigación minera por geoquímica.

Por último, queremos resaltar el interés minero que presenta la región a causa de las numerosas discordancias existentes en la zona, muy aptas para la deposición de mineralizaciones.

Recibido en V-67



FERNANDO VAZQUEZ GUZMAN

## CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA TECTONICA DEL CAMBRIANO DE CALA (HUELVA)

### RESUMEN.

Se pone de manifiesto la existencia de una tectónica de ejes cruzados. Un eje subhorizontal de dirección Oeste Noroeste-Este Sureste y otro subvertical de dirección Norte Noreste-Sur Suroeste.

### SUMMARY.

In this paper a crossed-axes tectonic is described. One axes es subhorizontal and it trends WNW-ESE, the other axes is almost vertical and it trends NNE-SSW.

### INTRODUCCIÓN

En la segunda mitad del siglo pasado, año 1877, Gonzalo y Tarín en su «trabajo geológico-minero sobre la provincia de Huelva», asignó al Cambriano zonas al Norte y Sur de la Hoja núm. 918 (Santa Olalla de Cala), de acuerdo con los caracteres litológicos y la datación como cambrianas de las calizas de Alconera efectuada por MacPherson.

El descubrimiento por Lotze, en colaboración con el Dr. W. Henke, de los primeros restos de trilobites en la carretera de Arroyomolinos de León a Cañaveral de León, hizo que en 1937 considerara aquel autor la existencia de cuatro horizontes pertenecientes al Cambriano medio. Posteriormente se determinó que se trataba de una fauna georgiense.

Más tarde H. Schneider realizó un detallado estudio de la estratigrafía del Cambriano en la zona de Cala (Huelva).

Lotze atribuye la tectónica de la región a las fases sárdica, bretónica y posiblemente sudética; Schneider, a las mismas fases junto con la astúrica y Febrel a esta última.

El presente trabajo es un adelanto de la Memoria correspondiente a la Hoja núm. 918 del Mapa Geológico de España.

## TECTÓNICA

El rasgo estructural más acusado es una fuerte pizarrosidad o «slaty cleavage», que en algunos casos enmascara y borra a la estratificación.

Los planos de estratificación se reconocen claramente en los bancos de cuarcitas, areniscas y grauvacas, en intercalaciones de rocas rígidas con otras plásticas, y en el fino fajeado que en ocasiones se aprecia al partir las pizarras; en otros casos, la acción de los agentes exteriores pone al descubierto lechos de distinta composición dentro de la uniformidad de la roca fresca o inalterada.

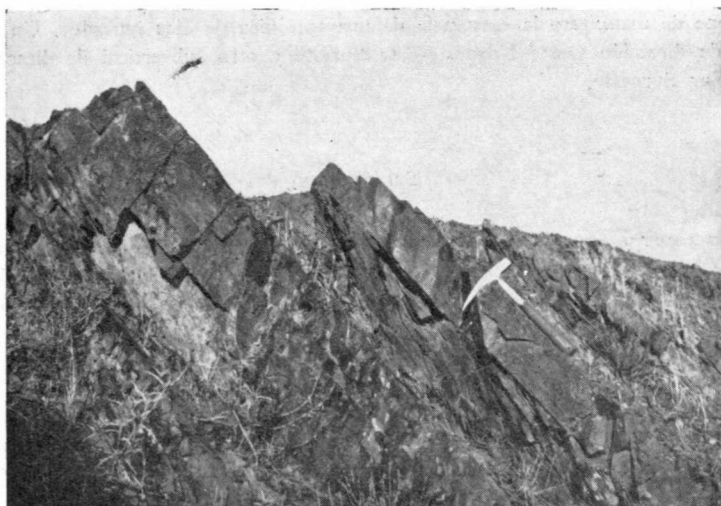


Foto 1.—Rama normal, martillo paralelo a  $S_1$ , Km. 1,800 ferrocarril minero de Cala a San Juan de Aznalfarache.

A veces estratificación y pizarrosidad coinciden o son sensiblemente paralelos, y es fundamental una cuidadosa diferenciación de ambos planos para resolver la estructura geológica o para decidir sobre la posición normal o invertida de las ramas de pliegues (foto 1).

En algunos afloramientos, como en los del Arroyo del Charco del Agua, los del camino vecinal de Cala al de la estación de la Junta por Puerto Moral y otros, se observa la presencia de dos planos de pizarrosidad que con el de estratificación producen una fractura acicular («pencil cleavage») de la pizarra arcillosa. Los dos planos de pizarrosidad corresponden, como veremos, a dos movimientos de ejes ortogonales y los denominamos  $S_2$  y  $S_3$ ,

sin que los subíndices indiquen edad relativa o anterioridad de uno respecto del otro.

La cartografía de la zona, cuyas unidades adoptan una orientación general NO.-SE. que pone de manifiesto a la orogenia herciniana, hace pensar en la existencia de un movimiento que dio origen a una estructura geológica

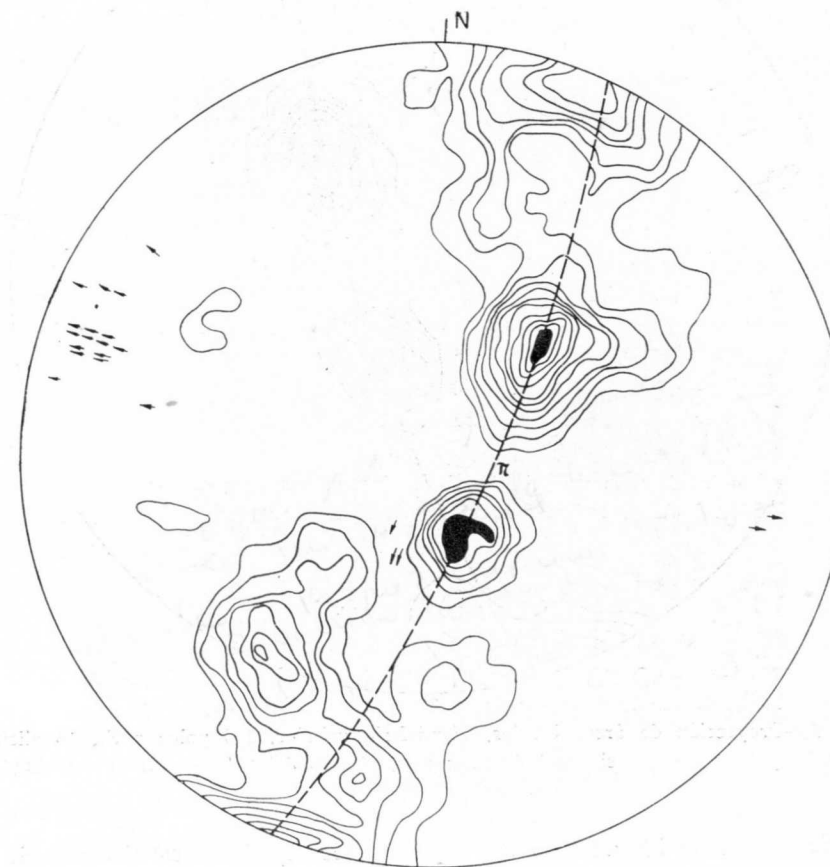


Figura 1.—Proyección de áreas iguales. Hemisferio inferior. 200 polos a  $S_1$ , 19 alineaciones  $L_1$  y 3,  $L_2$ . Curvas del 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11 %.

de esa dirección; sin embargo, los diagramas estructurales preparados demuestran la presencia de los dos movimientos que pasamos a considerar.

En el diagrama de la figura 1 hemos proyectado 200 polos a planos de estratificación, cuya orientación tomamos en los recorridos por la zona del presente estudio, y dibujado las curvas de contorno. El diagrama de la figura 2 corresponde al sinclinal de Herrerías. De ellos, se deduce que la tectónica de la región no se aleja sensiblemente de la de pliegues cilíndricos.

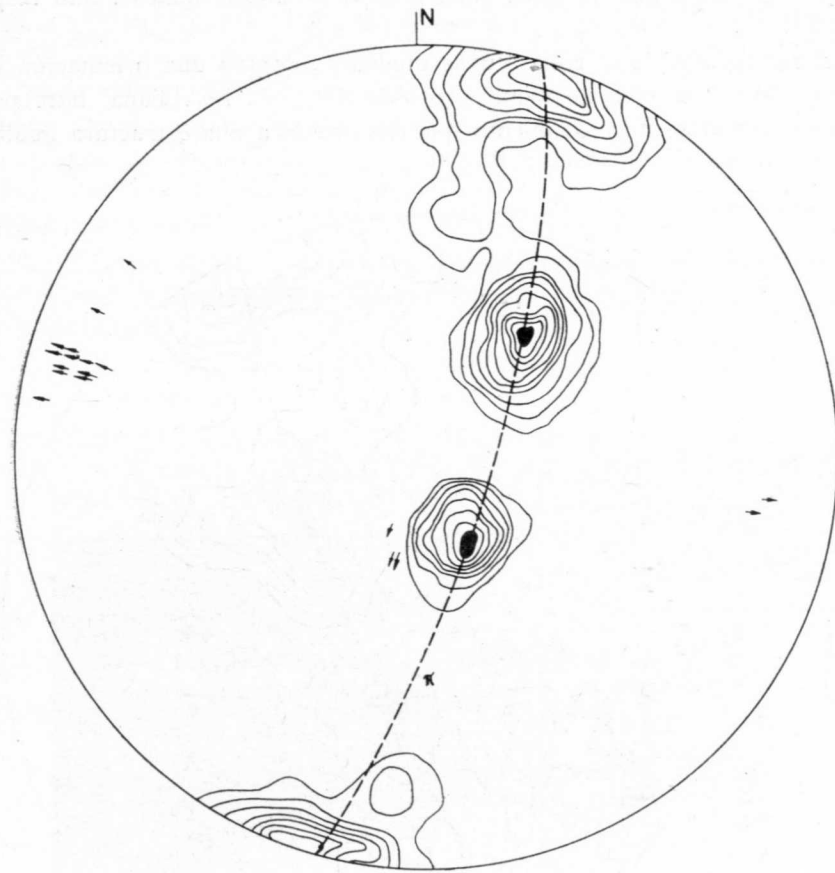


Figura 2.—Proyección de áreas iguales. Hemisferio inferior. 100 polos a  $S_1$ , 16 alineaciones  $L_1$  y 3,  $L_2$ , en el sinclinal de Herrerías. Curvas del 2.4-6-8-10-12-14-16-18-20 %.

La orientación de las alineaciones  $L_1$  (intersección de estratificación  $S_1$  con pizarrosidad  $S_2$ , medida en este último plano) y la disposición de los polos a lo largo de un círculo máximo  $\pi$  (aunque exista dispersión de polos), ponen de manifiesto la existencia de un movimiento de eje  $B_1$  subhorizontal y de dirección Oeste Noroeste-Este Sureste.

Los pliegues mesoscópicos congruentes observados en afloramientos de campo son:

- a) Pliegues con una rama, buzando suavemente al Norte y la rama Sur fallada.
- b) Pliegues cilíndricos.
- c) Pliegues volcados.

En los pliegues volcados una rama buza suavemente al Norte y la otra

rama está empinada y es en ella donde la estratificación buza más que la pizarrosidad. La vergencia es al SO.

La pizarrosidad de estos pliegues es subvertical y generalmente buza al Norte.

La dispersión de polos, especialmente de los que corresponden a estratos con fuerte buzamiento, que se desvían del círculo de polo  $B_1$ , adaptándose



Foto 2.—Alineaciones  $L_2$  (lápiz paralelo a ellas) en calizas de la Sierra de los Castillejos. Camino vecinal de Cala al de la estación de la Junta, por Puerto Moral.

al círculo máximo de referencia coincidente con el plano del dibujo, la existencia de alineaciones  $L_2$  (intersección de  $S_1$  con  $S_3$ , medida en el plano  $S_3$ ), aunque sean pocas (foto 2), y la presencia de la pizarrosidad  $S_3$  (foto 3), cuyo rumbo aproximado es N.  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$  E., son pruebas de la presencia de un nuevo movimiento de eje  $B_2$  subvertical y ortogonal a  $B_1$ . Por otra parte, la existencia de pliegues, de plano axial  $S_3$  lo ratifica plenamente. Estos pliegues pueden verse en las calizas de la Sierra de los Castillejos, entre los kilómetros 2 y 3 del camino vecinal de Cala al de la estación de la Junta por Puerto Moral (fotos 4 y 5).

Estamos, pues, en presencia de una tectónica de ejes cruzados, disponiéndose las unidades conforme al plegamiento de eje subhorizontal y no reconociéndose en el plano los pliegues que corresponden al movimiento de eje subvertical. No sólo a la presencia de un basamento cercano, sino fundamentalmente a la existencia de este eje subvertical, deben atribuirse las inflexiones que sufren las unidades litológicas al separarse de la clásica dirección hercínica.



Foto 3.—Pizarrosidad  $S_3$  (martillo sensiblemente paralelo) en pizarras moradas del sinclinal de Herrerías. Idem.

Para determinar la edad de estos movimientos es necesario relacionar la tectónica de esta zona con la del Devoniano medio, del Sur de las formaciones cambrianas, y la del Devoniano superior estudiada por Febrel y Strauss en la Hoja de Calañas y en Portugal respectivamente. Estimamos que se trata de la misma tectónica en todas las áreas y por tanto pertenecientes a la orogenia hercínica, probablemente a la fase astúrica.

Por último, queremos señalar que no estimamos sea isoclinal el plegamiento en la región, como se ha venido considerando, pues las formas y tipos de pliegues y los datos de campo así lo atestiguan; los mismos dia-



Foto 4.—Pliegues en calizas con las dos deformaciones. Idem.



Foto 5.—Charnela subvertical suavemente plegada alrededor del eje subhorizontal. Idem.

gramas estructurales, con análogo número de planos de estratificación buzando al Norte y al Sur, es prueba bien elocuente. Quizá haya sido considerado isoclinal por una serie de hechos que inducen a error, como el existir una pizarrosidad  $S_2$  que buza fuertemente al Norte y que, en muchos casos, puede confundirse con la estratificación, el ser poco frecuentes las ramas suaves de pliegues que han sido eliminadas por fallas, el haber desaparecido en amplias áreas las ramas con buzamiento Sur a causa de fallas longitudinales que buzan al Norte y determinan la aparición de nuevas ramas de pliegues, esta vez con buzamiento Norte, produciendo una estructura imbricada.

En muchas áreas de la región (en otras los pliegues no están fallados), no puede hablarse de anticlinorios y sinclinorios, pues la estructura es la formada por la integración de pliegues fallados, en la que predominan las ramas normales buzando al Norte y las fallas longitudinales con análogo buzamiento, dando origen a que las series bucen monótonamente al Norte.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALÍA MEDINA, M.: *Rasgos estructurales de la Baja Extremadura*, «Bol. Soc. Esp. Hist. Nat.», t. LXI, págs. 247-262, Madrid, 1963.
- FAIRBAIRN, H. W.: «Structural Petrology of deformed rocks», Cambridge, 1949.
- FEBREL, T.: *Sobre la existencia de dos cruces representativas de dos distintas deformaciones en el Devónico-Carbonífero, de la Hoja de Calañas, núm. 959*, «Not. Com. Inst. Geol. Min. Esp.», núm. 77, Madrid, 1965.
- GONZALO y TARÍN, J.: *Reseña geológica de la provincia de Huelva*, «Bol. Com. Mapa Geol. Esp.», t. V, Madrid, 1878.
- *Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva*, «Mem. Com. Mapa Geol. Esp.», t. I, 2.ª parte, Madrid, 1887.
- LOTZE, F.: *Die Iberische Halbinsel*, «Geol. J. b.», 4B, págs. 245-257, 1942.
- *Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen-Meseta Geotektonische Forschungen*, H. G. Berlin, 1945. «Publ. Ext. Geol. Esp.», t. V, Madrid, 1950.
- *Über Sardische Bewegungen in Spanien und ihre Beziehungen, Zur assyrischen Paläontologie*, «Geot. z. Ehren von H. Stille», págs. 128-129, Stuttgart, 1956.
- *Das Kambrium Spaniens*, *Abh. Math. Natl. Klasse, NR. G*, t. I, 1961.
- *Kambrium Spaniens*, «Zbl. Geol. Paläont. Teil I.», 1966, H. 6 S. 1206-1227, Stuttgart, 1966.
- RAMSAY, J. C.: *The deformation of early linear structures in areas of repeated folding*, «Jour. Geol.», 68, 1960.
- SCHNEIDER, H.: *Altpaläozoikum bei Cala in der westlichen Sierra Morena*, «Diss.», 725, 10 Abb., 5 Tab., Berlin, 1939.
- *Das Kambrium der Herrerías-Mulde bei Cala, Einleitung zu R. E. Richter, Die Fauna des Unter-Kambriums von Cala in Andalusien*, «Abh. Senckenb. Natur. Ges.», 455, Frankfurt a. M., 1941.
- *Das Paläozoikum im Westteil der Sierra Morena (Spanien)*, «Z. Dtsch. Geol. Ges.», 103, págs. 134-135, 1951.

- STRAUSS, G. K.: *Zur Geologie der SW Iberischen Kiebsprovinz und ihrer Lagerstätten, mit besonderer Berücksichtigung der Pyritgrube Lousal Portugal*, München, 1965.
- WEISS, L. E.: *Geometry of superposed folding*, «Geol. Soc. Am. Bull.», 70, 1959.
- WILSON, G.: *The relationship of slaty cleavage and kindred structures to tectonics*, «Proc. Geol. Assoc.», 57, 263, 1946.
- *The tectonic significance of small scale structures, and their importance to the geologist in the field*, «Ann. Soc. Belg.», t. CXXXIV, 1961.

Recibido el 31-I-67.



TIRSO FEBREL

## EL ANALISIS MICROSCOPICO EN PROBLEMAS DE CONCENTRACION MINERAL: SU APLICACION EN EL CASO DE LAS PIRROTINAS DE FORNAS (SANTIAGO DE COMPOSTELA)

Lo expuesto a continuación indica el proceso de todo estudio microscópico realizado en colaboración con el Departamento de Concentración de Minerales del Instituto Geológico y Minero en el Laboratorio de Petrografía y Metalogenia del mismo. A lo largo de la narración traemos ejemplos realizados con metalizaciones de criaderos españoles por nosotros estudiados en el curso de los últimos quince años, y en especial consideramos el caso de las pirrotinas de Fornás (Santiago de Compostela), uno de los últimos estudiados.

Un estudio microscópico con vistas a la concentración de un todo uno consta de tres partes:

- I) Composición mineral de la mena.
- II) Relaciones de crecimiento entre minerales útiles con ganga.
- III) Porcentajes de cada uno de los componentes minerales (ganga incluida) y proporciones, en cada uno de ellos, de las distintas magnitudes de grano.

I) La composición mineral del todo uno es de suma importancia y en contadas ocasiones el que envía una muestra al Laboratorio tiene completo conocimiento de su paragénesis.

Se determina la composición mineral sobre probetas pulidas y láminas delgadas preparadas del todo uno y debe describirse por separado cada uno de los minerales hallados, indicando su color, habitus, cohesión, dureza en sus distintas formas, pleocroísmo, reflectividad, anisotropismo y otras características especiales, magnetismo, peso específico, grado de oxidación, etcétera.

Sobre la preparación de probetas pulidas y láminas delgadas de menas y granos remitimos a los trabajos de Barringer, Brison y Gates; sobre cómo debe efectuarse el recuento de las mismas, al de Chayes (ver bibliografía).



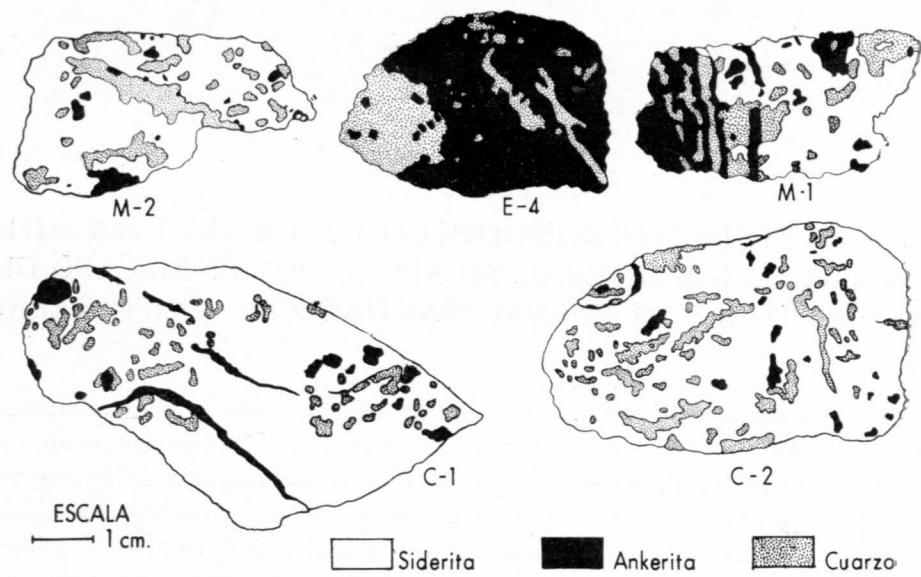


Fig. 1.—Mineral de Sarachaga

Presentamos, como ejemplo, la composición mineral de la mena de Fornás. Cada mineral va acompañado de su fórmula química y del porcentaje de elemento útil, si lo contiene (tabla 1).

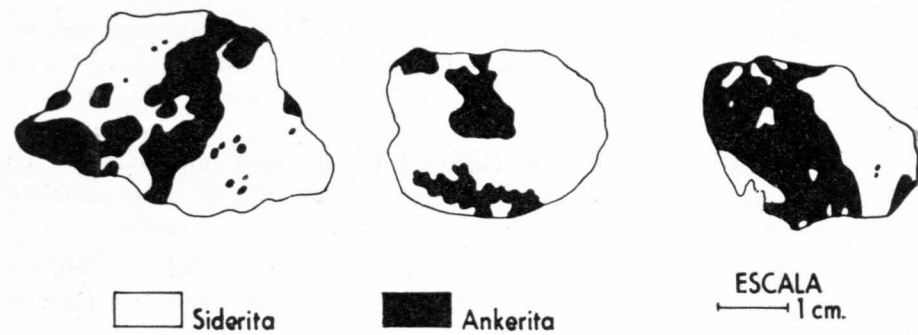


Fig. 2. Mineral de Franco Belga

La composición mineral sirve para determinar en qué forma se presenta todo elemento hallado en el análisis químico completo o parcial del todo uno.

No es la siderosa el único carbonato de los hierros de Vizcaya (figs. 1 y 2); incluso más abundante que siderosa es la ankerita, un carbonato de

TABLA 1

I. Composición mineral

Minerales útiles	Minerales metálicos	Principales	Pirrotina $FeS_{1+x}$	36,5 % S		
			Calcopirita $CuFeS_2$	34,7 % Cu		
		Accesorios:	Pirita $S_2Fe$	49,4 % S		
	Minerales no metálicos					
Ganga	Minerales metálicos	Principales	Ilmenita $TiO_3Fe$			
			Accesorios	Blenda $SZn$		
				Limonita $FeO.OH (+ x H_2O)$		
		Minerales no metálicos	Principales	Anfibol (composición compleja)		
				Plagioclasa	$Si_3O_8AlNa$	
					$Si_2O_8Al_2Ca$	
				Clorita $SiO_7Al_2 (Fe, Mg)_3 2H_2O$		
				Saussurita mineral complejo		
				Accesorios	Biotita $K_2O 6 (Mg, Fe) O (Al, Fe)_2 O_3 6SiO_2 + 2H_2O$	
					Cuarzo $SiO_2$	
Turmalina $3 Al_2O_3 6SiO_2 3BO_3 2H_2O$						
Apatito $9CaO 3P_2O_5 Ca (F, Cl, OH)_2$						

*Pirrotinas:* El principal mineral de la mena. Granoblástica, orientada en bandas paralelas al fajeado de la muestra de mano. De color crema con tinte rosado, con excelente pulido, con crucero basal (0001) manifiesto por un comienzo de alteración en pirita o limonita, con pleocroísmo de reflexión. Tiene maclas normales a la dirección de mejor crucero y vivo anisotropismo, excepto en secciones basales. No se reconocen segregaciones de pentlandita. Magnética. Está oxidada en limonita que cruza a pirrotina en vetillas que muestran reflexiones internas de color rojo.

*Calcopirita:* Donde está abundante distribuida en bandas paralelas al fajeado de la muestra de mano. De color amarillo claro, con muy buen pulido, con anisotropismo débil, si se observa con objetivo de inmersión en aceite, con maclas individuales. Asociada con blenda, siempre muy subordinada a la calcopirita.

*Ilmenita:* En pequeños granos dispersos en la ganga de silicatos y con menos frecuencia incluida en pirrotina o pirita. De color gris con tinte ligeramente rosado, tiene pleocroísmo de reflexión que permite reconocer la presencia de individuos maclados según (1011) y vivo anisotropismo.

*Pirita:* Siempre idiomorfa. En cubos exentos de inclusiones o incluida en pirrotina o, con menos frecuencia, en calcopirita o ganga. La forma, color e isotropismo hacen a pirita fácilmente identificable.

*Blenda:* Asociada a calcopirita, se presenta en muy reducida proporción. Es isótropa, tiene reflexiones internas de color rojo (sustitución de Zn por Fe en la red). Muestra textura de emulsión, con desmezcla de calcopirita.

la serie isomorfa dolomía-siderosa con Ca, Mg, Fe y Mn. No se puede prescindir de recuperar las ankeritas, so pena de obtener un rendimiento en Fe muy bajo.

Galenas enviadas con la denominación de argentíferas (El Rosalejo-Córdoba), tienen la plata no asociada a galena, sino a tetraedrita, que como mineral accesorio figura en la paragénesis (foto 1).

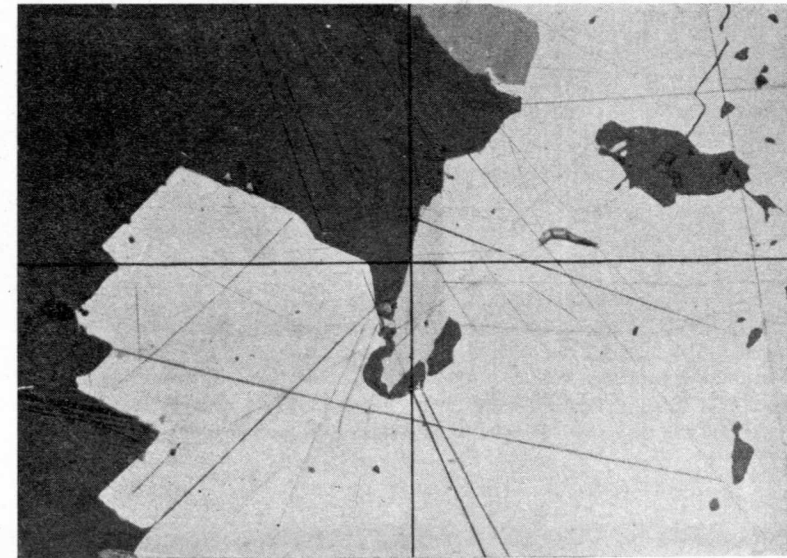


Foto 1.—Sección de yrtaedrita (centro en foco), portador de plata, con galena, blenda y ganga de cuarzo. El Rosalejo (Córdoba). Probeta pulida, 140 aumentos.

Hay limonitas en el Sahara español que contienen elevada proporción de Mn en forma de psilomelano (foto 2), lo que indudablemente eleva el valor del todo uno.

Si importante es saber la forma en que se encuentra un elemento útil, no lo es menos en el caso de elementos nocivos.

En los hierros oolíticos fosforosos del Noroeste de España (\*) (fotos 3 y 4) y de Luesma (foto 5) (Zaragoza), el fósforo se presenta en forma de apatito, pero en los de Luarca (Asturias) (foto 6) el fósforo ha sido captado por la red de hidróxidos y no aparece en forma de minerales fosforosos. En algunas limonitas del Sahara español, el fósforo se presenta en forma de colófano y exhibe las texturas orgánicas propias de este fosfato (foto 7).

(\*) DOETSCH, J.; también ha observado colófano en láminas delgadas de estos hierros por él estudiadas.

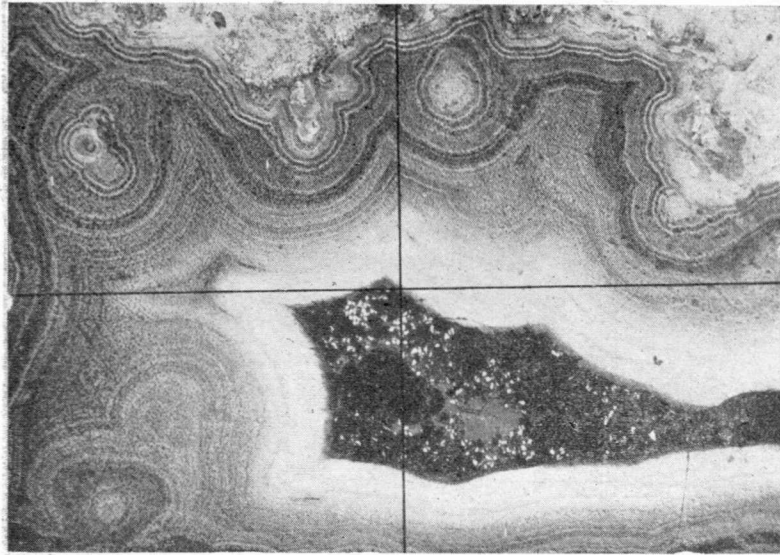


Foto 2.—Estructura rítmica coloidal en psilomelano obtenida por ataque con CIH 1:1. Hierros sedimentarios del Sahara español. Probeta puída, 50 aumentos.

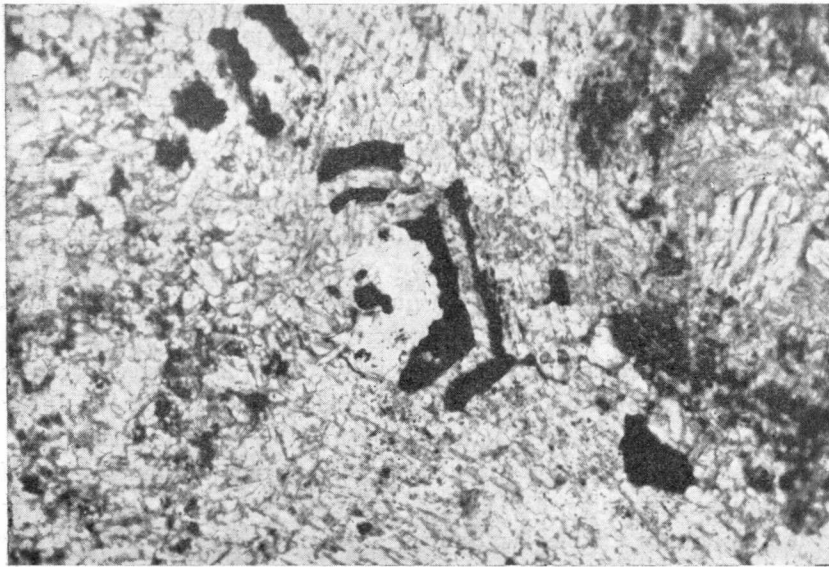


Foto 3.—Oolito con núcleos de magnetita y cenefas sucesivas de apatito-magnetita-siderosa-magnetita. (Centro en foto.) Intersticial formado por carbonatos de hierro. Coto Vivaldi (León). 100 aumentos.

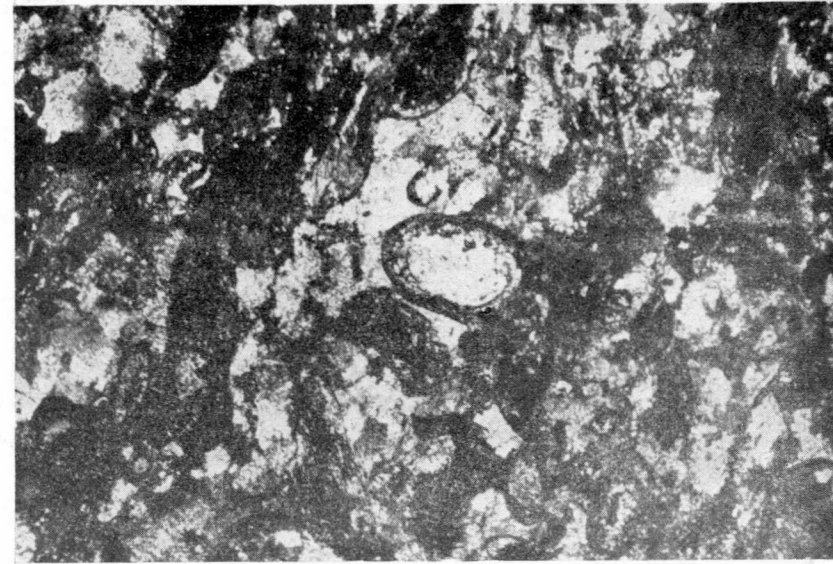


Foto 4.—Oolito con núcleo de apatito y periferia de magnetita. (Centro en foto.) Intersticial colítico. Hierros colíticos del Coto Vivaldi (León). Lámina transparente, sin analizador; 50 aumentos.

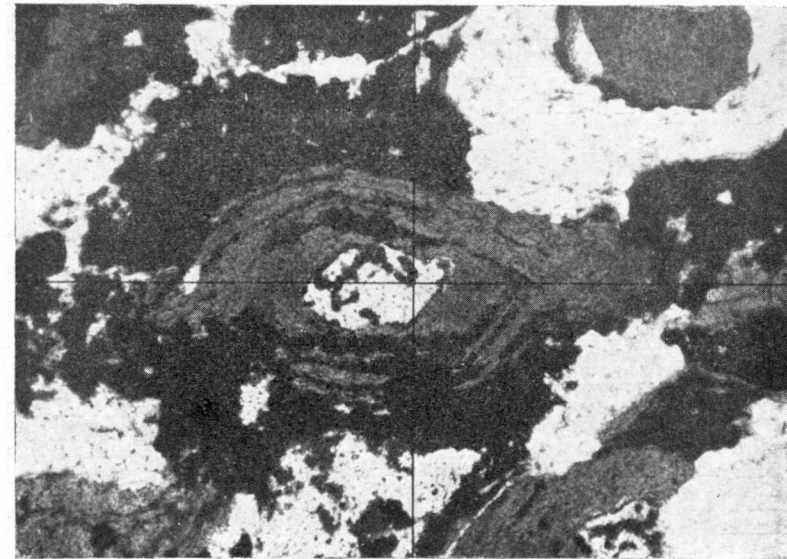


Foto 5.—Oolito con núcleo de apatito y periferia de biotita ferrífera y magnetita y numerosos poros. Hierros colíticos de Luesma (Zaragoza). Lámina transparente, sin analizador, 100 aumentos.

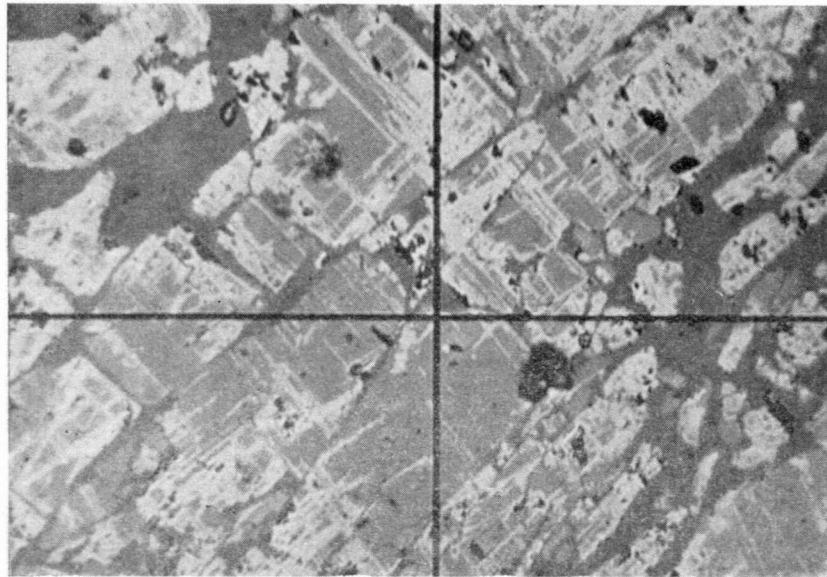


Foto 6.—Magnetita cataclástica sustituida por oligisto (martita) según los planos (111). Vetas con relleno de goethita. Hierros de Lluarca (Asturias). Probeta pulida, 500 aumentos.

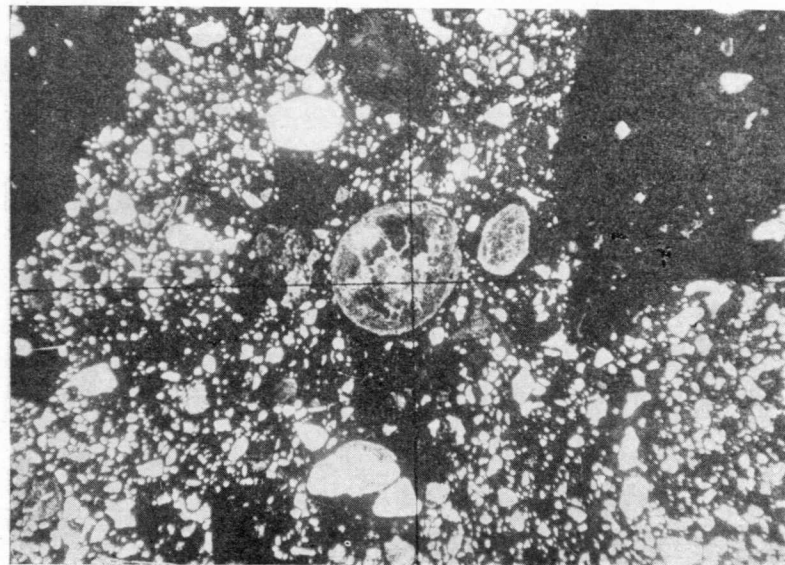


Foto 7.—Oolitos constituidos por colofano (fosfato amorfo) con las fracturas de desecación propias de los materiales coloidales. (Centro en foto.) Granos detríticos de cuarzo cementados por hidróxidos de hierro. Hierros sedimentarios del Sahara español. Lámina transparente, sin analizador, 31 aumentos.

Sólo si el fósforo está en forma de minerales fosforosos, apatito, colófano o vivianita, puede intentarse la desfosforación por separación magnética, en caso de menas magnéticas, o por flotación.

El arsénico de hierros sedimentarios de Arcos de Jalón (Soria) no se presenta en forma de minerales arsenicales, sino captados por los hidróxidos de Fe, que al estar cargados positivamente, tienen un gran poder de captación de aniones.

También es elemento nocivo el Bi, que en forma de bismutina y bismuto nativo aparece asociado a metalizaciones de calcopirita-blenda-galena de Garganta de los Montes (Madrid) (foto 8).

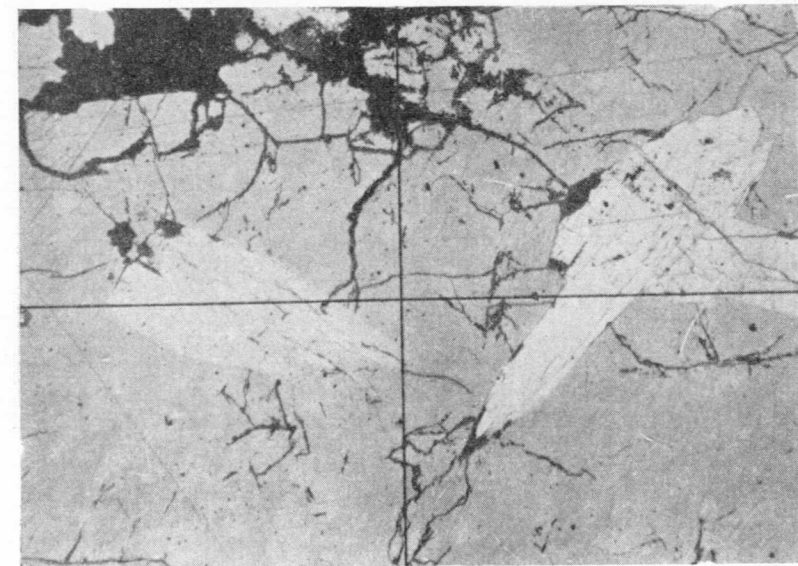


Foto 8.—Secciones idiomorfas de bismutina en calcopirita cataclástica. Garganta de los Montes (Madrid). Probeta pulida, 50 aumentos.

El grado de oxidación de un todo uno puede influir de un modo decisivo en el comportamiento por flotación del mismo, de forma que debe concederse especial importancia a la determinación de minerales secundarios originados en zonas de oxidación, anglesita y cerusita en metalizaciones de plomo de Cabanillas de la Sierra (Madrid) (foto 9), cenefas microscópicas de limonita en secciones de pirrotina (Santiago de Compostela), a veces difíciles de reconocer, incluso en observación microscópica.

La composición mineral de la mena sirve para decidir, en muchos casos, el método de concentración a emplear: separación por densidad, separación magnética, tratamiento químico, flotación, etc.



La génesis del criadero, ya sea conocida de antemano o deducida en el curso de un estudio petrográfico y metalogénico, aporta también datos de valor sobre los cambios paragenéticos que puedan esperarse en profundidad y por tanto sobre las modificaciones a efectuar en el tratamiento de concentración.

La hematites de Luarca (Asturias) (foto 6) es pseudomórfica de magnetita (martita) y conserva gran parte del magnetismo de la magnetita a que

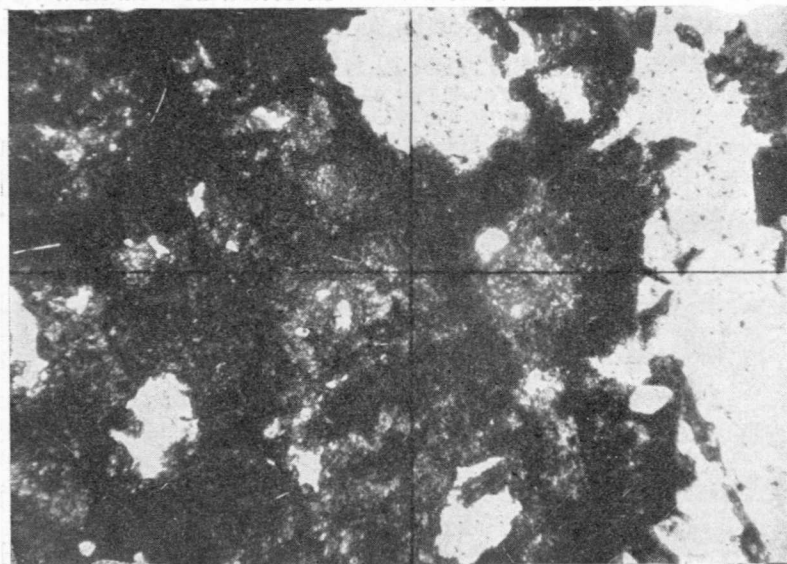


Foto 9.—Anglesita formada en zona de oxidación a expensas de galena. Se reconoce en la anglesita la red cúbica de la galena. Cabanillas de la Sierra (Madrid). Lámina transparente, sin analizador, 100 aumentos.

ha sustituido. Es de esperar que la proporción de magnetita aumente en profundidad por debajo del nivel hidrostático, y que disminuya, por el contrario, el fósforo (0,3-0,4 P en muestras de superficie). El fósforo debe hallarse concentrado en hidróxidos de hierro, ya que no hemos reconocido apatito en las muestras estudiadas. Al disminuir los hidróxidos en profundidad, es muy probable que disminuya también el fósforo. Deben esperarse, por tanto, mejoras en profundidad, tanto en lo referente a las características magnéticas de la mena como a la disminución del fósforo.

Las magnetitas de Cala (Huelva) tienen una textura poiquilítica o en criba que se observa en todas las muestras estudiadas de ese criadero (foto 10). Esa textura indica que la magnetita se ha formado en un medio sólido; secciones del anfíbol hornblenda, que es anterior a magnetita, quedan incluidas en este último mineral en su crecimiento.

Esto excluye que la magnetita sea sedimentaria, como se ha pretendido,

y que tenga la regularidad que corresponde a todo depósito sedimentario. El criadero es pneumatolítico de contacto a juzgar por las relaciones de campo y el estudio microscópico. Esto se refiere exclusivamente a las muestras estudiadas de la mina de Cala y no a otros criaderos de esa misma región.

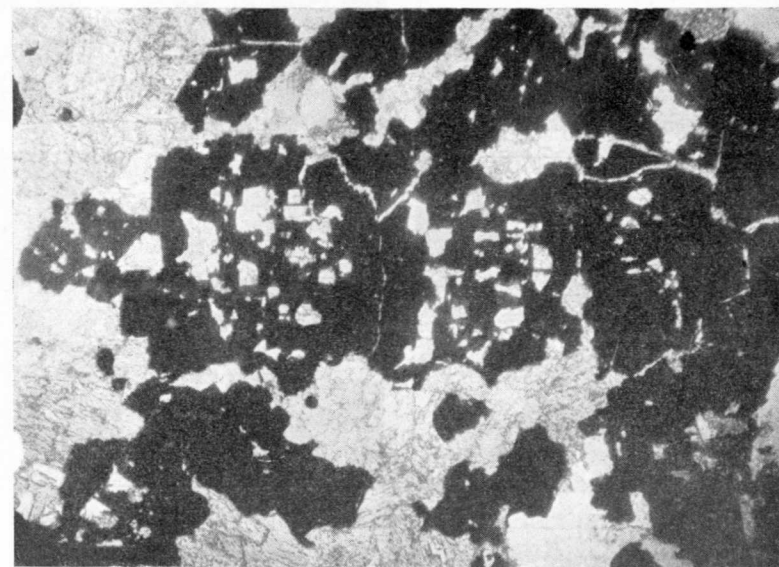


Foto 10.—Magnetita con numerosas inclusiones de hornblenda. (Textura en criba.) Hierros de Cala (Huelva), lámina transparente, 35 aumentos, sin analizador.

Las metalizaciones del basamento cristalino que aflora en la Hoja de Torrelaguna número 509 (Madrid) son de naturaleza pneumatolítica, análoga a la de las metalizaciones situadas en el contacto granito-neis. Todo indica que el granito, que en la Hoja aflora a distancia de esas concentraciones metálicas, debe hallarse a muy poca profundidad y que en profundidad no tienen esas minas el menor porvenir.

II) Las relaciones de crecimiento entre minerales útiles o de éstos con la ganga y el tamaño de esos crecimientos es lo que establece, en primera aproximación, el grado de molienda a utilizar. Una molienda excesiva origina gastos no compensados por una mejor recuperación, y una molienda insuficiente determina una recuperación incompleta con elevada proporción de mixtos. El término medio es la consecuencia de una serie de ensayos que la Planta de Concentración debe efectuar en conexión con el Laboratorio Mineralográfico, donde se estudiarán de forma estadística los productos (concentrados, rechazos) de los sucesivos ensayos.

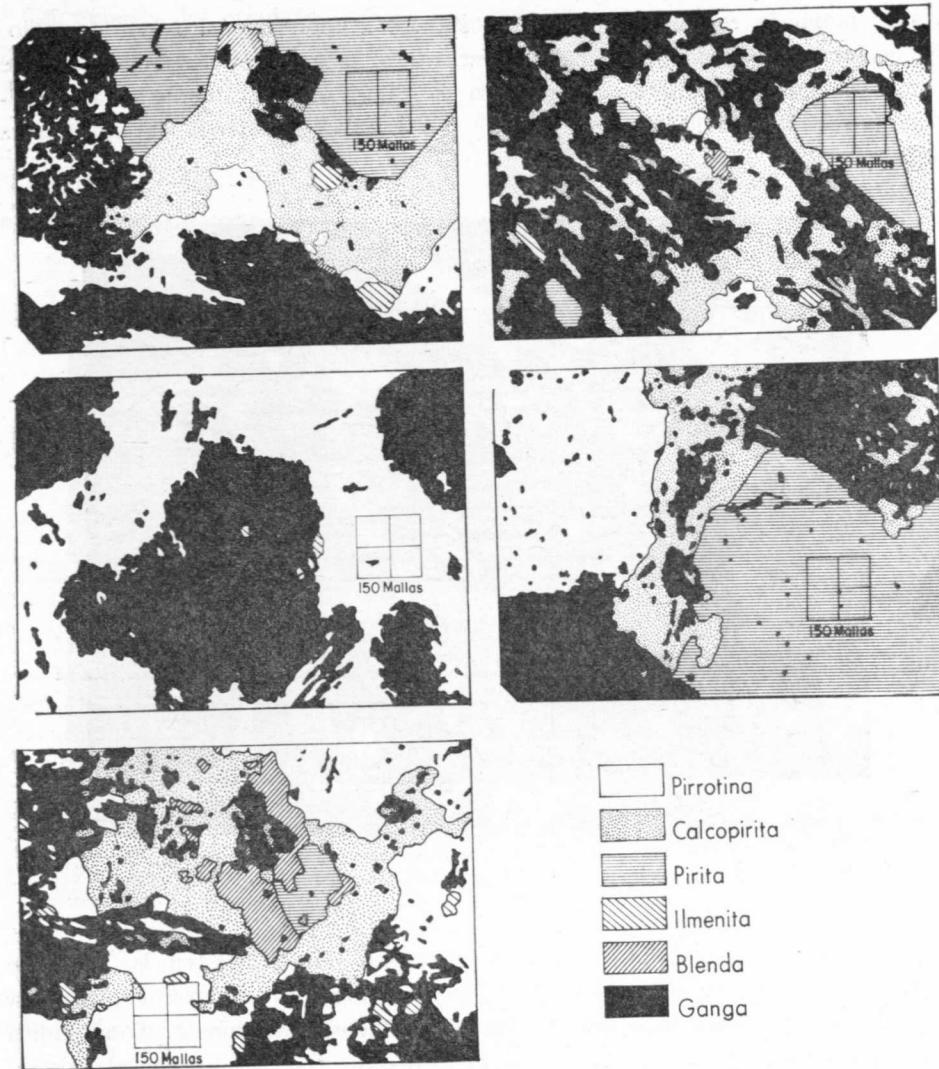


Fig. 3

Las relaciones de crecimiento más usuales de cada metalización deben venir presentadas gráficamente en forma de calcos tomados de la muestra de mano o del campo microscópico o de fotomicrografías. Unos y otros deben ir acompañados de una escala lineal o superficial.

Las figuras 1 y 2 representan relaciones de crecimiento entre carbonatos de hierro y la ganga cuarzosa en menas de los Cotos de Sarachaga y Franco-Belga (Bilbao); la figura 3, las relaciones entre sulfuros y ganga de un todo uno procedente de la metalización de pirita magnética (pirrotina) de Fornás (Santiago de Compostela).

Las relaciones entre minerales útiles o de éstos con la ganga, dice bastante acerca del comportamiento de los mismos en el ulterior tratamiento de concentración. La distribución de los productos de molienda en las distintas magnitudes de grano depende de esas relaciones y de las características físicas y formales del individuo cristalino.

La forma redondeada de los granos de ilmenita en las pirrotinas de Fornás determina que se liberen de la pirrotina o ganga que las incluye sin sufrir trituración en el proceso de molienda. Este comportamiento no lo tiene ninguno de los restantes componentes.

Granos de apatito individualizados y no asociados íntimamente con magnetita o martita, como se observa en los hierros de Luesma (Zaragoza) (foto 5), no deben constituir mayor problema, a pesar de su reducido tamaño, 0,016-0,128 mm., en la concentración de esa mena por vía magnética.

Mayor problema lo constituyen los hierros oolíticos del Noroeste de España (fotos 3 y 4), donde el apatito presenta íntimos intercrecimientos con magnetita que determinan que el concentrado obtenido por separación magnética sea incluso tan fosforoso como el todo uno. El tratamiento químico parece imprescindible en este caso.

Los hierros titaníferos del Sahara español están esencialmente formados por la asociación oligisto (martita)-ilmenita, con porcentajes de oligisto comprendidos entre 89,7 por 100 y 84,6 por 100, y de ilmenita entre 10,3 por 100 y 27,6 por 100. De tres formas distintas se presenta el  $TiO_2$  del criadero:

- Secciones de ilmenita reconocibles *de visu* y que pueden ser liberadas en una molienda liberada.
- Laminillas de ilmenita segregadas en los planos octaédricos de la magnetita titanífera o del oligisto pseudomórfico de la magnetita (fotos 11 y 12). Estas laminillas que tienen anchuras de milésima de milímetro requerirían moliendas de ese orden de magnitud para ser liberadas. La mayor parte del  $TiO_2$  de la mena se presenta de esta forma.
- La magnetita titanífera, mineral residual en el todo uno, ya que ha pasado a oligisto casi por completo, tiene tono rosado de color debido a contener  $TiO_2$  en disolución sólida. Este  $TiO_2$  no es separable.

Además, la magnetita titanífera y el oligisto pseudomórfico de la magnetita contienen una espinela magnesiana segregada en los planos (100) de la magnetita, cuya liberación encierra el mismo problema que el de las laminillas de ilmenita. Todo ello demuestra las dificultades que encierra la concentración de estos hierros, habida cuenta de que si después del tratamiento contienen más del 8 por 100 de  $TiO_2$  no pueden ser empleados económicamente.

Las relaciones de crecimiento denominadas desmezclas o eutécticas, originadas por elementos que están camuflados en la red cristalina del mineral

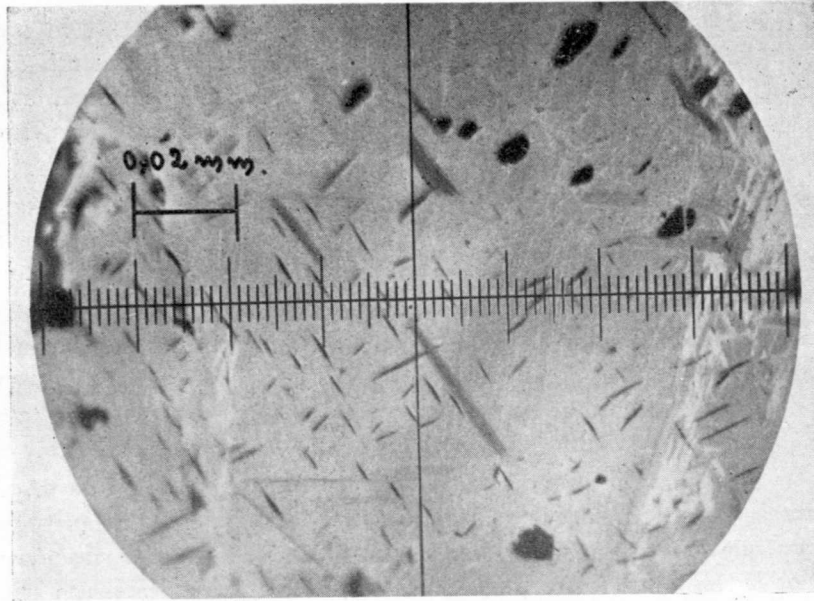


Foto 11.—Sección de magnetita con incipiente martirización. Presenta dos series subnormales entre sí y diagonales en foto de laminillas de desmezcla de ilmenita. Probeta pulida, 680 aumentos.

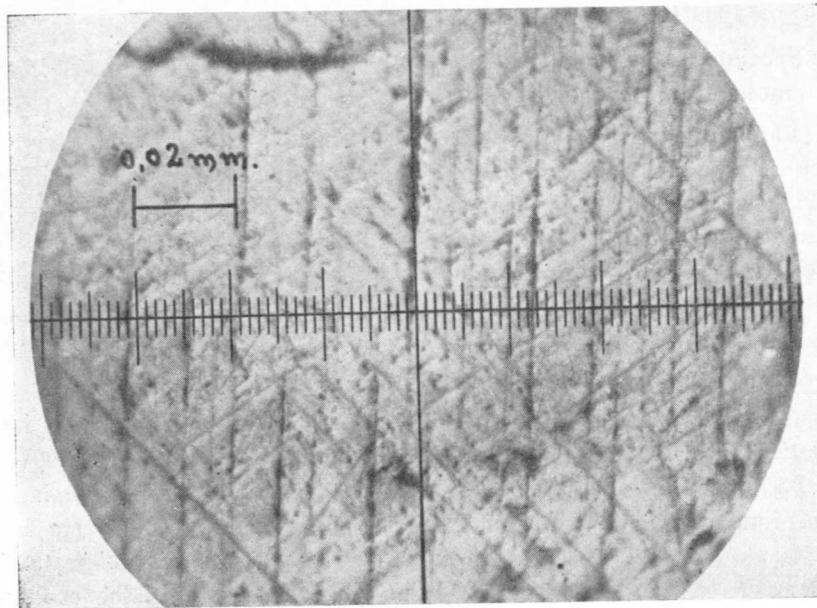


Foto 12.—Oligisto pseudomórfico de magnetita con dos series diagonales de laminillas de ilmenita. El plano (100) del oligisto aparece bien marcado (de arriba a abajo en la foto). Probeta pulida, 680 aumentos.

que los aloja o por elementos que forman cristales de mezcla isomorfa, suelen ser muy complejas y estos elementos sólo pueden ser recuperados por métodos metalúrgicos.

III) Los datos cuantitativos, obtenidos por recuentos efectuados en muestras medias representativas, deben acompañar a todo estudio microscópico efectuado con vistas a la concentración de una mena. Son los más laboriosos y prolongados.

Una evaluación cuantitativa de las magnitudes de grano de cada uno de los componentes de la mena sirve para establecer cuál ha de ser la molienda más adecuada. El mismo recuento sirve para determinar las proporciones en volumen de cada uno de los componentes del todo uno.

Magnitud de grano significa el diámetro medio de cada grano o agregado de granos de un componente encerrados en otro componente. Son generalmente las asociaciones binarias las que se tienen en cuenta, y para las pirrotinas de Santiago hemos considerado los tamaños de todas las combinaciones binarias halladas: po  $\#$  gg, po cp, po py, cp gg, cp py, py gg, py po, py cp, gg po, gg cp, gg py, il gg, il po, il cp, il py, po pirrotina, cp calcopirita, py pirita, il ilmenita, gg ganga. La asociación binaria pg  $\#$  gg supone el conjunto de granos de pirrotina aislados o en agregado incluidos en ganga y la asociación gg  $\#$  po supone la relación opuesta.

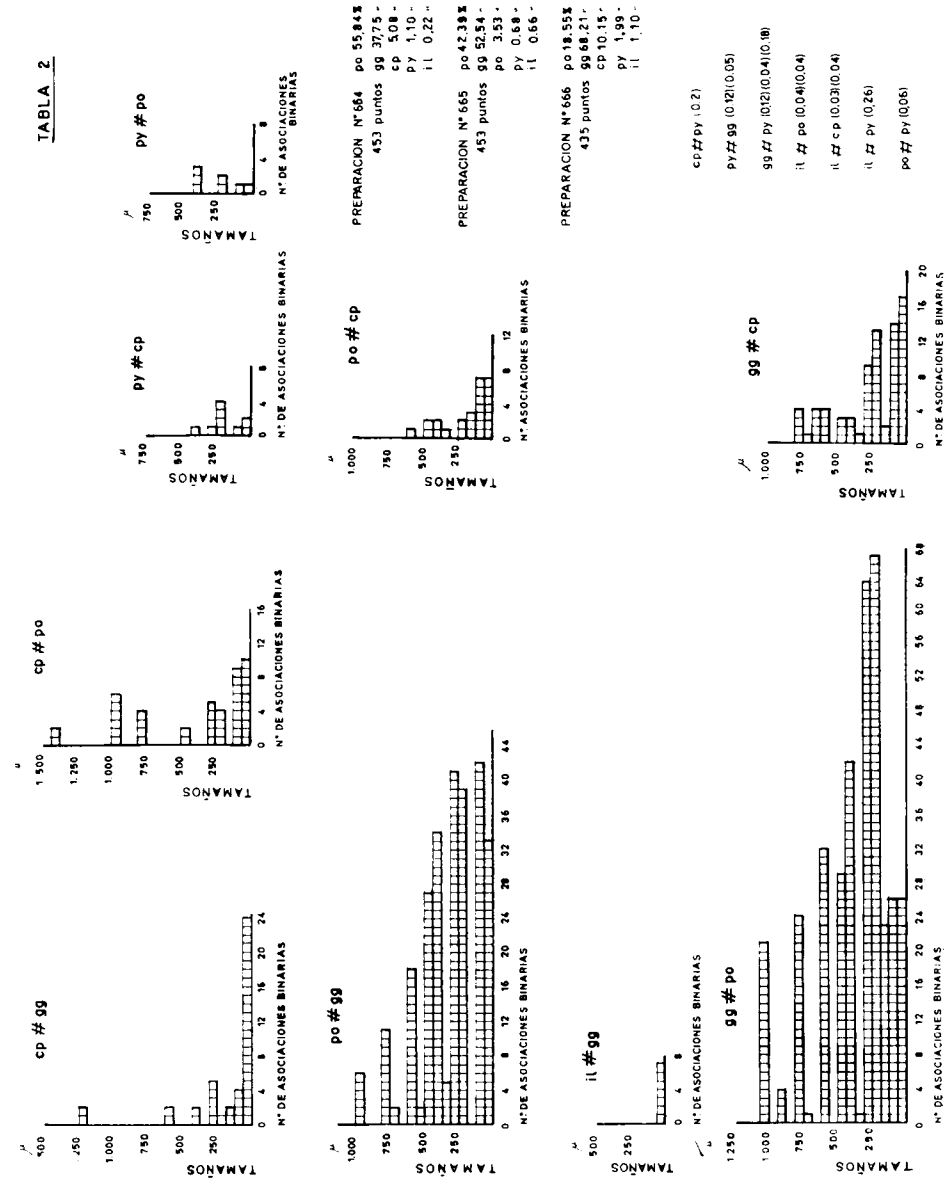
El recuento se efectúa sobre probetas pulidas del todo uno. Un recuento de unos cientos de granos efectuado en recorridos transversales distantes 1 ó 2 mm. entre sí, según el tamaño de grano de la probeta estudiada, da, si las muestras están bien tomadas, una buena idea de las magnitudes de cada uno de los componentes. No se necesita mayor exactitud. Los datos obtenidos indican cuál ha de ser la molienda más adecuada; ensayos posteriores efectuados en la Planta de Concentración y el estudio al microscopio de los productos obtenidos, establecerán cuál debe ser la definitiva.

La determinación de las proporciones en volumen de cada uno de los componentes del todo uno sólo puede ser aproximada, si operamos del modo indicado. La desviación standard exige, si se ha de reducir a un valor aceptable, que la determinación se base en un total de unos 1.000 puntos por probeta pulida o lámina delgada correspondiente. El error analítico establece, de acuerdo con el índice granulométrico, cuál debe ser el mínimo número de probetas o láminas delgadas medidas.

Todos estos requisitos, que la determinación de proporciones de los distintos componentes exige que sean cumplidos, no son indispensables cuando tan sólo se requiere conocer la magnitud de grano de los distintos componentes. La molienda establecida a partir de los datos obtenidos es sólo provisional; la definitiva requiere de posteriores ensayos efectuados en la Planta de Concentración.



El resultado del recuento puede ser expresado en forma gráfica, como hacemos en la tabla 2 con las pirrotinas de Fornás, llevando en ordenadas tamaños y en abscisas el número de granos de cada uno de los tamaños. Cada tamaño tiene una amplitud de 62  $\mu$ . El recuento fue efectuado sobre cuatro muestras elegidas del todo uno. También puede expresarse en forma cumulativa, como indica la tabla 3 para las mismas pirrotinas de Fornás.



En los gráficos de esta tabla se observa:

a) El 76 por 100 de las inclusiones de pirrotina en calcopirita, po # cp, y el 55 por 100 de las de calcopirita en pirrotina cp po, tienen un diámetro medio inferior a 250  $\mu$ , el 58 por 100 y el 45 por 100 respectivamente inferior a 125  $\mu$  y el 28 por 100 y el 24 por 100 respectivamente inferior a 62  $\mu$ .

b) El 57 por 100, 39 por 100, 73 por 100 y 44 por 100 de las inclusiones gg # cp, gg po, cp gg y po gg tienen diámetro medio inferior a 250  $\mu$ , el 38 por 100, 14 por 100, 69 por 100 y 29 por 100 de las mismas diámetro medio inferior a 125  $\mu$  y el 21 por 100, 7 por 100, 58 por 100 y 14 por 100 de las mismas, diámetro medio inferior a 62  $\mu$ .

c) Las inclusiones de ilmenita en sulfuros o en ganga son inferiores a 62  $\mu$ .

Los gráficos ponen de manifiesto que una primera separación de la ganga y sulfuros, mediante una molienda moderada, para obtener después con los sulfuros dos centrados, uno con calcopirita y otro con pirrotina y pirita, tras una molienda más fina, no es aconsejable, ya que el 58 por 100 de las inclusiones cp # gg tiene diámetro medio inferior a 62  $\mu$ . De operar de este modo, buena parte del Cu marcharía con ganga.

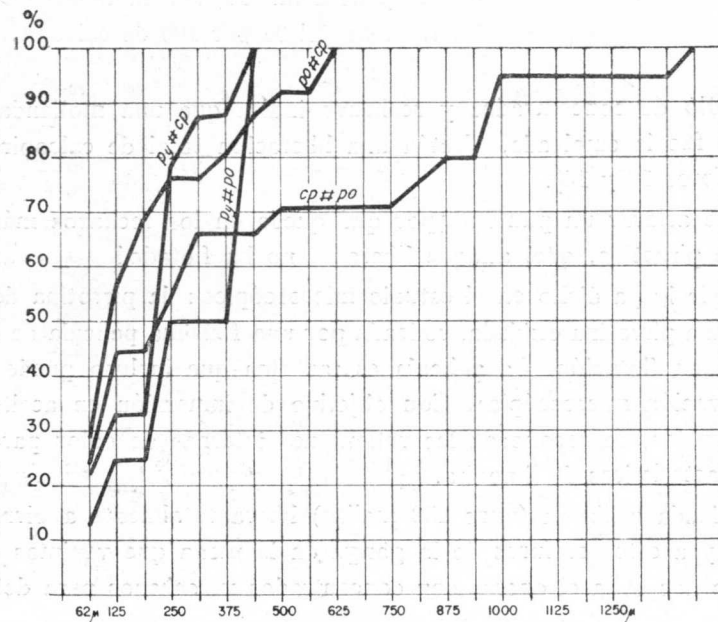
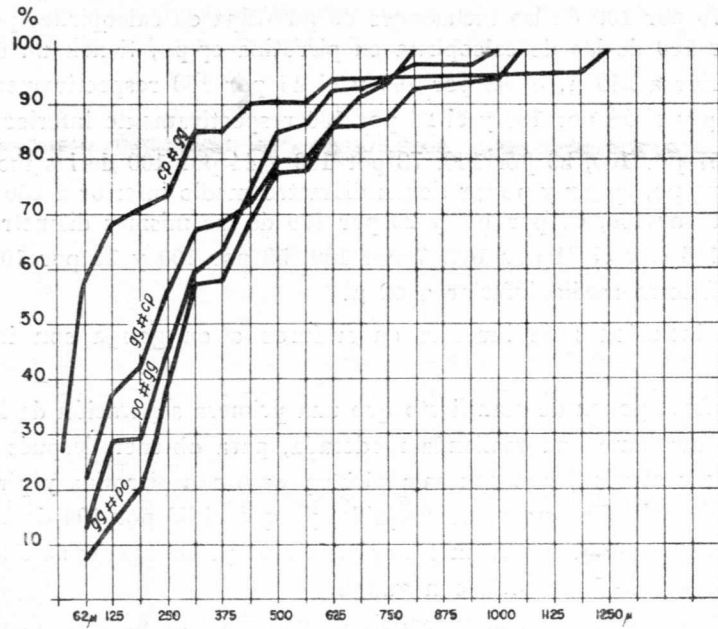
Teniendo en cuenta que la superficie de un grano de 62  $\mu$  de diámetro es una cuarta parte de la de un grano de 125  $\mu$  de diámetro, una molienda de 250 mallas = 0,06 mm. = 60  $\mu$  debe liberar más del 90 por 100 de calcopirita de los sulfuros.

El estudio de concentrados y rechazos indica que una molienda de ese orden, que fue la empleada, efectúa una liberación total de calcopirita y de pirrotina (fotos 13 y 14).

Hay que aclarar un punto: ¿por qué queda en los rechazos más del 20 por 100 de pirrotina, que, aunque liberada, no ha flotado?

Se cumple lo ya dicho en el estudio microscópico: la pirrotina de los rechazos es una pirrotina oxidada, rodeada por una finísima película de limonita que impide su flotación. La película es tan fina que incluso puede escapar a la observación microscópica. Con objetivo de inmersión en aceite y con nicoles cruzados, se reconocen las reflexiones internas de color pardo amarillento características de limonita.

La molienda utilizada (unas 250 mallas) libera totalmente a pirrotina de calcopirita y a estos sulfuros de la ganga en la mena que venimos considerando. Ello nos evita el operar con concentrados y rechazos para determinar las diferentes clases de mixtos que contienen y las proporciones de cada clase en los diferentes tamaños establecidos. Todo ello puede ser expresado gráficamente como lo hicimos en la tabla 2 para las combinaciones binarias, que en



Curvas acumulativas de los porcentajes de cada asociación binaria en tamaños establecidos de 62 en 62  $\mu$

Tabla 3

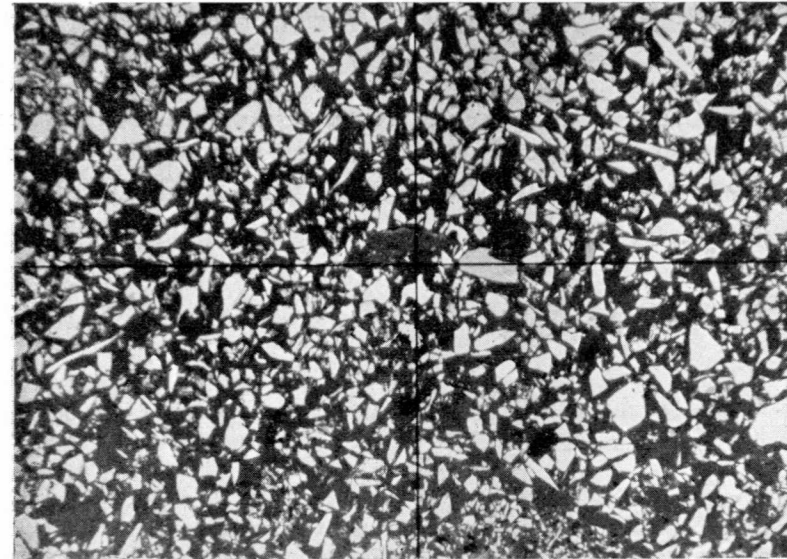


Foto 13.—Concentrado de pirrotina de la mena de Fornás (molienda a unas 250 mallas = 0,06 mm.). Obsérvase la liberación prácticamente total de la pirrotina. Algún grano de pirita (segundo cuadrante en la foto) y de ilmenita (hilo horizontal del retículo). Probeta pulida, 50 aumentos.

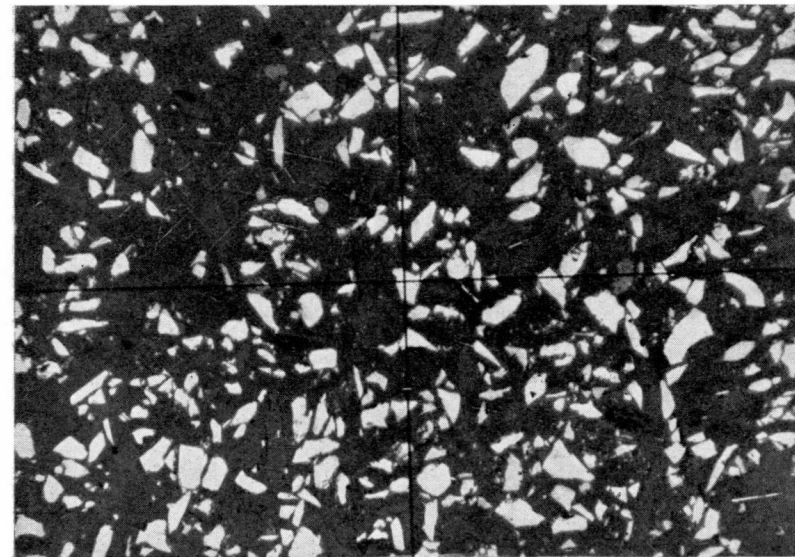


Foto 14.—Rechazo a 250 mallas = 0,06 mm. de la mena de Fornás. La pirrotina de este rechazo no ha flotado por hallarse oxidada. La ganga presenta en la foto color gris muy oscuro y se diferencia difícilmente del cemento de Araldita. Probeta pulida, 50 aumentos.

este último caso serían mixtos, o en forma cumulativa, como indica la tabla 3.

De los gráficos se puede deducir la distribución de cada clase de mixtos en los diferentes tamaños y aun puede expresarse esa distribución en forma de porcentaje en peso, con lo que se ve qué tamaño o tamaños son los más favorecidos por la clase de mixto considerada.

Recibido el 22.5.67.

J. A. MARTINEZ ALVAREZ, M. TORRES ALONSO y V. VILLANUEVA

## CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE ASTURIAS

### RESUMEN

El crecimiento del consumo de agua en el ámbito provincial de Asturias crea serios problemas, que se están intentando encauzar por el camino del aprovechamiento integral de las diversas posibilidades hidrológicas de la región.

Los autores analizan en este estudio las distintas posibilidades «hidrogeológicas», de acuerdo con las investigaciones realizadas y con los conocimientos actuales del problema.

Establecen a continuación el orden de prelación que, a su juicio, debe seguirse en la investigación y prospección de las distintas unidades en que clasifican los recursos hidrogeológicos de Asturias.

### INTRODUCCIÓN

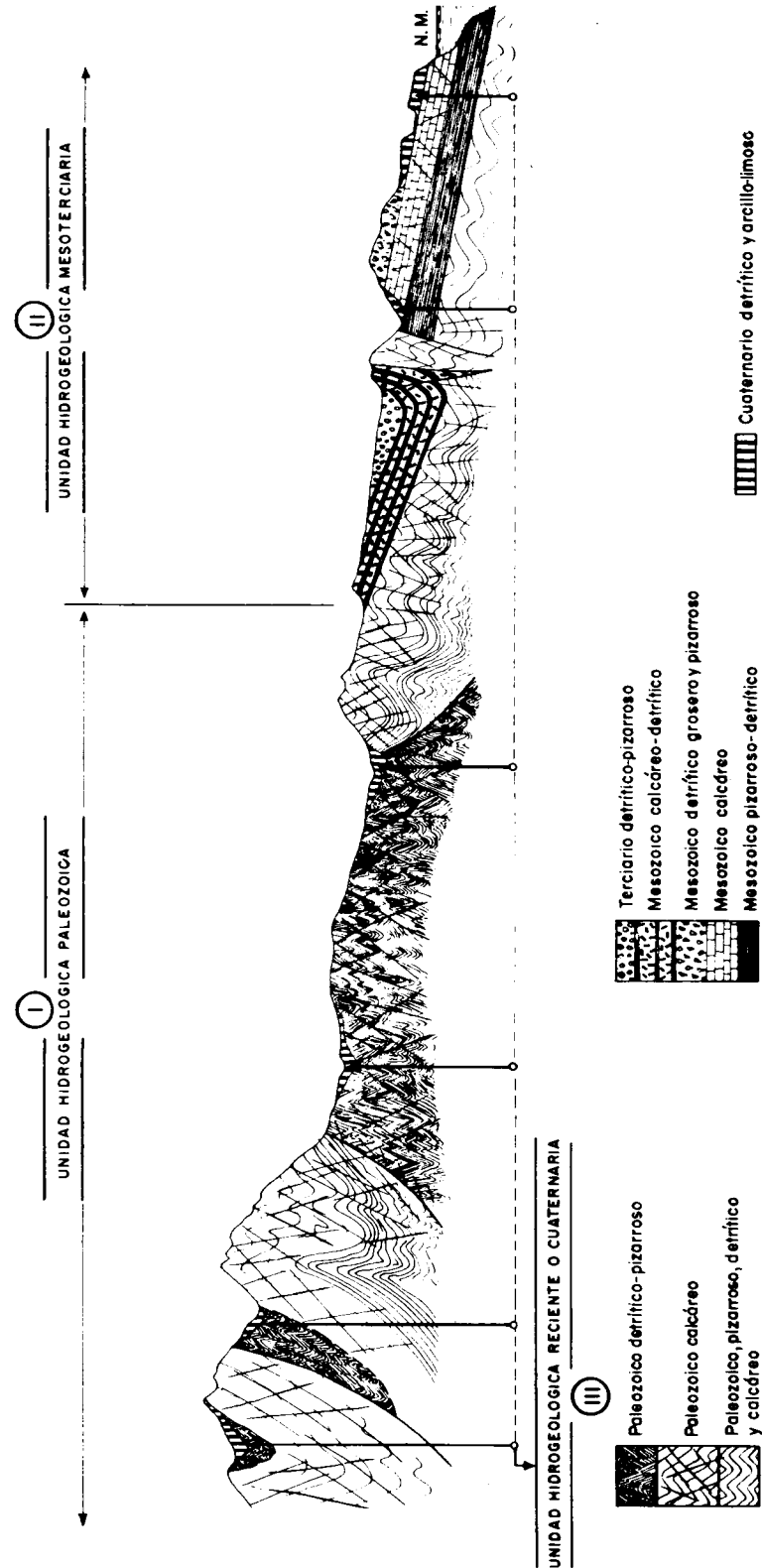
El crecimiento del consumo de agua en el ámbito provincial de Asturias, crea problemas que se están intentando encauzar mediante el aprovechamiento integral de las diversas posibilidades hidrológicas e hidrogeológicas. El laboratorio de Hidrogeología del C. S. I. C., está comenzando a realizar una serie de estudios, encaminados a conocer las disponibilidades de aguas subterráneas de la región.

En el presente trabajo queremos presentar una visión sintética de estas posibilidades, de acuerdo con las investigaciones realizadas y conocimientos que poseemos.

### AL UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DE ASTURIAS

Elementalmente, el ámbito regional astur puede ser escindido en las siguientes unidades hidrogeológicas:

1. Unidad hidrogeológica paleozoica.
2. Unidad hidrogeológica meso-terciaria.
3. Unidad hidrogeológica reciente o cuaternaria.



1. Unidad hidrogeológica paleozoica

Las posibilidades hidrogeológicas, es previsible, que sean las siguientes para las distintas unidades litoestratigráficas:

- a) *Conjunto Cámbrico y Precámbrico.*—Posibilidades relacionadas con acumulaciones de fisura preferentemente. Muy localmente de tipo cárstico.
- b) *Conjunto Silúrico (Ordovícico y Silúrico).*—Los principales recursos han de relacionarse con sospechables reservas ligadas a complejos fisurados.
- c) *Conjunto Devónico.*—La formación devónica asturiana, muy heterogénea y litológicamente calcárea, arenosa y pizarrosa, ofrece posibilidades de prospección de recursos de índole cárstico, de fisura, e incluso, freático.
- d) *Conjunto Carbonífero y Permocarbonífero.*—Las posibilidades mayores han de proceder, del estudio de la amplia y desarrollada circulación cárstica, en los conjuntos litológicos calcáreos. No hay que descartar los recursos localizados, de nexo freático y de fisura.

Considerada en su totalidad, esta unidad hidrogeológica, destaca porque constituye la mayor parte de la superficie del territorio astur. Se encuentra ampliamente trastornada por la macro y microtectónica; también —muy característicamente— por los procesos cársticos. La red fluvial superficial es amplia y bien diversificada. Las superficies litológicas, aún cuando algo recubiertas por suelos de vegetación desarrollados, tienen una notable capacidad de absorción. La pluviosidad es acentuada en toda la zona de su extensión y, en gran parte de la misma, cuenta con el aporte nival durante largo tiempo.

2. Unidad hidrogeológica mesoterciaria

En la misma existen varios conjuntos litológicos con interesantes posibilidades.

- e) *Conjunto Triásico.*—Es margo-arcilloso y detrítico, fundamentalmente. Existen, por tanto, posibilidades teóricas de aguas del tipo freático. Localmente de fisura.
- f) *Conjunto Jurásico.*—La parte baja del mismo es calcáreo-dolomítica. Se encuentra muy fisurada. Hay posibilidades, indudables, de circulación y acumulación de agua de régimen cárstico. La parte alta es detrítica y arcillo-margosa. La zona detrítica — que no está cementada— tiene notables condiciones naturales para la existencia de agua freática.

Circunstancialmente puede haber posibilidad de aprovechar el ciclo hídrico creado en torno a las fisuras.

- g) *Conjunto Cretáceo.*—Es, a la vez, detrítico, calcáreo y arcillo-margo-

so. Estas condiciones determinan la presencia de posibilidades de aguas freáticas interesantes. La circulación cárstica no tiene excesiva personalidad. Las aguas de fisura pueden ofrecer interés en contadas zonas.

h) *Conjunto Terciario*.—Se caracteriza por su heterogeneidad litológica. Existen múltiples cambios laterales. Sus posibilidades fundamentales entran dentro del campo freático.

Esta unidad destaca por ocupar una zona reducida en el total del territorio asturiano. Se localiza, no obstante, entre Oviedo, Avilés, Gijón, Pola de Siero y Villaviciosa, centros de gran concentración de población e industrial actual y, previsiblemente, futura. La red hidrográfica superficial en esta unidad es reducida y no muy diversificada. La capacidad de absorción, aceptable, a pesar del predominio de suelos y tapiz vegetal. Existen grandes dislocaciones tectónicas que subdividen esta unidad hidrogeológica y coadyuvan a la absorción superficial. El porcentaje pluvial anual es el más reducido de la región, pero elevado, en su consideración general.

### 3. *Unidad hidrogeológica reciente o cuaternaria*

Los grandes conjuntos de depósitos recientes con interés hidrogeológico elemental son los siguientes:

i) *Conjunto formado por los depósitos de la franja costera*.—Se trata de materiales detríticos groseros (conglomerados y arenas). Existen, también, algunas interesantes acumulaciones arcillosas. Aparecen esporádicamente distribuidos, por la antigua franja costera (zona de abrasión marina), que integra la actual zona de las «rasas» costeras. Hay, al propio tiempo, algunos retazos interesantes en la línea de costa actual. Las posibilidades, localizadas, de este conjunto costero, están en relación con la presencia de fenómenos de freatismo limitado.

j) *Conjunto de los depósitos fluviales y aluviales*.—Solamente los valles de los ríos Nalón, Narcea y Sella tienen significativas acumulaciones de materiales detríticos, procedentes de la acción fluvial. En las partes terminales (rias y su continuidad inmediata), y accidentalmente, en otras zonas, de los ríos Eo, Navia, Avilés, Aboño y Villaviciosa, se encuentran formaciones recientes detríticas, arcillosas y limosas. Los recursos hidrogeológicos de tipo de depósitos recientes, han de estar en relación con aguas freáticas libres superficiales.

k) *Conjunto de depósitos de la montaña*.—Constituyen acumulaciones limitadas de materiales detríticos, predominantemente groseros. Proceden de la erosión y acumulación gravitacional antigua y reciente. También, en menor porcentaje, de la acción glacial antigua (fragmentos de morrenas). Como en los casos anteriormente referidos, las aguas susceptibles de aprovechamiento, son las freáticas libres, surgentes en buen número de casos.

El carácter global de esta unidad está caracterizado, como acabamos de referir, por la limitación de las formaciones propicias, distribución irregular y capacidad reducida de las mismas. La multiplicidad y complejidad de los afloramientos con este carácter hace difícil su sistematización. En consecuencia, la descripción y presentación, siempre se traduce en una cierta esquematización simplicista, que advertimos.

### B) RÉGIMEN ACTUAL DE LAS DISTINTAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

1. El régimen propio de la unidad paleozoica, en sus distintos conjuntos, es el natural. No existen regulaciones o aprovechamientos encaminados a la mejor utilización de las aguas que circulan o se retienen temporalmente en estas formaciones.

La totalidad del agua regulada por la infiltración sobre estos materiales, alimenta una amplia red de fuentes y surgencias. Destacan las de nexo cárstico. También las de fisura propiamente dicha, las cuales dominan el ámbito occidental de Asturias.

La casi totalidad de las necesidades de agua de los núcleos de población asentados sobre el paleozoico, se satisfacen con el aprovechamiento elemental de estas múltiples fuentes y surgencias, constantes e intermitentes.

2. La unidad hidrogeológica mesoterciaria es, también, pródiga en fuentes y surgencias naturales. En la misma existen algunas captaciones superficiales o pozos, encaminados a utilizar el agua freática, con carácter más somero. La distribución de éstos es irregular y anárquica.

El impulso que en los últimos años dio, Llopis Lladó, a la importancia del agua freática profunda de esta unidad, determinó la realización de algunos sondeos de captación fructíferos. El número de los mismos es, aún, reducido.

3. En los depósitos, recientes y actuales, de la unidad hidrogeológica cuaternaria, existen algunas obras elementales de captación (pozos superficiales) del agua de infiltración regulada por los mismos. Su ubicación es arbitraria e intuitiva.

Buen número de fuentes, intermitentes o no, del dominio montañoso asturiano, están regidas por la presencia y condiciones regulantes naturales que ejercen estos materiales.

El régimen actual de las distintas unidades hidrogeológicas asturianas es el natural. Existen solamente algunas captaciones directas y prospecciones de captación somera, muy poco desarrolladas. Las realizaciones de recuperación de agua subterránea profunda son, todavía, contadas. La apreciación del potencial hidrogeológico subterráneo está por realizar. La valoración cualitativa, no obstante, acredita su indudable interés. Por una parte, por lo que puede suponer una justa y más cabal distribución de lo que manan las actuales fuentes y surgencias naturales. En otro sentido, por los nuevos

caudales que se pueden aportar, mediante racionalizadas obras de captación o complejas de alumbramiento profundo.

### C) POSIBILIDADES HIDROGEOLÓGICAS ASTURIANAS

1. En el orden de regulación para el aprovechamiento integral del agua subterránea aflorante, las necesidades y posibilidades de las distintas unidades hidrogeológicas son comunes. El estudio de la fuente o surgencia e implantación de la adecuada captación, regulará su caudal, en el peor de los casos, y aumentará éste, en gran número de ocasiones. Querer añadir cifras a estos razonamientos sería prematuro, dada la escasez de datos que se poseen, no obstante, nos atrevemos a predecir que se podrían duplicar las posibilidades actuales.

2. En el aspecto de alumbramiento de nuevos caudales, tiene Asturias unas posibilidades dignas de toda consideración. Las captaciones mediante pozos superficiales están poco desarrolladas. Sus previsibles recursos se pueden elevar al doble, con relativamente poco trabajo. Las correspondientes profundas están en su comienzo. No se considera que se trate de valores fuera de lo corriente. A pesar de lo cual, no se puede dejar de juzgar su carácter inédito e incuestionable y, por tanto, de reserva de urgencia que tarde o temprano se ha de integrar con las demás.

3. Las posibilidades presentes y futuras de Asturias en el campo de sus recursos «hidrogeológicos», consideramos que dependen:

1. *Del aprovechamiento integral de sus múltiples fuentes y surgencias.*
2. *De la utilización, más intensa, del agua subálvea.*
3. *Del alumbramiento intenso de aguas subterráneas profundas, en las áreas reducidas donde se considera viable.*

### D) ORDEN DE ESTUDIO DE LOS RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS DE ASTURIAS

Los problemas que esta región ha de abordar, de acuerdo con las posibilidades de índole hidrogeológico que se considera existen en la misma son las siguientes:

1. *Valoración y revalorización de los recursos hidrogeológicos aflorantes y actualmente aprovechados.*
2. *Estudio y valoración concreta de los nuevos recursos profundos previstos y no explotados, sino esporádicamente.*

1. Los aspectos más interesantes a desarrollar, en relación con el primer punto, consideramos que han de ser los siguientes:

— En el orden de valoración: Realización de un inventario de fuentes y surgencias. Destacar su aforo y utilización actual.

— En el orden de revalorización: Estudiar genéticamente las distintas fuentes y surgencias. Considerar estos datos base como elementos para poder distinguir unidades mayores del mismo régimen hidrogeológico. Planear captaciones eficientes de los manantiales utilizados. Iniciar el estudio del dinamismo hidrogeológico de las unidades más características y utilizadas, con el fin de conseguir un máximo y controlado rendimiento de las mismas.

2. Los correspondientes problemas relacionados con el segundo punto, se considera que son, esencialmente, los siguientes:

— En el orden de valoración: Verificar el inventario de pozos superficiales y sondeos profundos existentes. Relacionar el aforo de las mismas con cierto detalle.

— En el orden de estudio: Realizar una investigación litológica, estratigráfica y tectónica en las áreas de aguas subterráneas profundas. Estos estudios deben permitir definir, con precisión, el detalle de las unidades hidrogeológicas. Han de ser acompañados de sondeos de reconocimiento y prueba, que faciliten los datos necesarios para establecer el correspondiente balance hidrogeológico.

Los estudios de esta índole se considera que han de adoptar el siguiente orden de prelación:

a) Estudio de los recursos freáticos del Mesozoico y Terciario de la depresión mesoterciaria de Asturias.

b) Estudio de los recursos hidrogeológicos cársticos y secundariamente freáticos del Mesozoico costero asturiano.

El abordar, con orden, estas dos zonas de estudio permitirá contar con los datos necesarios para saber hasta qué punto estos recursos potenciales pueden coadyuvar a resolver los problemas presentes o futuros de las zonas de mayor expansión de Asturias, comprendidas entre Avilés-Oviedo-Pola de Siero-Villaviciosa y Gijón.

c) Estudio de las condiciones hidrogeológicas precisas de los recursos cársticos y de fisura de la unidad paleozoica.

d) Estudio concreto de las condiciones hidrogeológicas de los recursos subálveos.

Recibido el 24-VI-67.

J. A. MARTINEZ ALVAREZ y M. TORRES ALONSO

## ELEMENTOS PARA EL CONOCIMIENTO GEOLOGICO DEL CARBONIFERO DEL NORTE DE ESPAÑA

### RESUMEN

Las características geológicas del Carbonífero en el noroeste de España, no están concienzudamente estudiadas. Tras un periodo de casi total abandono, en los últimos años se vienen realizando una serie de estudios, los cuales permiten perfilar las ideas que nos legaron nuestros estudiosos predecesores de hace cincuenta años.

Resultado de esta actividad es el trabajo cuya presentación queremos adelantar mediante esta nota.

Consta de las cuatro partes siguientes:

- 1) Un mapa esquemático sobre las características del Carbonífero.
- 2) Una columna estratigráfica de la misma formación.
- 3) Una serie de cortes geológicos.
- 4) Una explicación sucinta.

### ANTECEDENTES

Las características geológicas del Carbonífero en el noroeste de España no están concienzudamente estudiadas. Ultimamente se vienen realizando una serie de estudios sobre el mismo, por los siguientes grupos de trabajo: Instituto Geológico de Münster (Alemania); Universidad de Leiden (Holanda); Universidad de Sheffield (Inglaterra); Instituto Geológico y Minero de España; Universidad de Oviedo y Escuela de Minas de Oviedo.

El «Seminario Geológico del Noroeste» (Escuela de Minas de Oviedo) realizó, durante el pasado año, un esfuerzo de copilación y sistematización en torno a los aspectos estratigráfico, estructural y cartográfico generales de los depósitos carboníferos de este ámbito nacional. Sus resultados se anticipan en esta nota.

Mediante esta labor, pretendemos compaginar las investigaciones que sobre este tema venimos realizando en Asturias, con las que desarrollan otros grupos de trabajo. También es nuestra intención facilitar, a los asistentes a estas Jornadas Minero-Metalúrgicas (1967), alumnos y no especialistas que tengan que relacionarse con estos problemas, una panorámica general del estado de esta investigación geológica regional.

## DATOS ESTRATIGRÁFICOS

En el cuadro adjunto (Cuadro I) sintetizamos las características estratigráficas y cronoestratigráficas generales del Carbonífero del noroeste de España. Esta compilación está basada en los datos facilitados por las más recientes investigaciones de este campo especializado de la Geología.

Los estudios de esta índole, realizados en el dominio regional de Asturias, son reducidos y algo anárquicos, hasta el momento. Esta circunstancia ha de tenerse en cuenta —como elemento aclaratorio— al juzgar la interpretación cronoestratigráfica dada a esta formación y subdivisiones locales, clásicas del ámbito de la Cuenca Central Asturiana.

En la zona cántabro-leonesa, los elementos de utilización cronológica son recientes y algo más sistemáticos, en ciertas zonas. A pesar de esto, en algunos aspectos clave, las opiniones de los autores son diversas y discutidas, manteniéndose en el terreno de las hipótesis de trabajo. Esta eventualidad se subraya expresando las distintas opiniones. Estas constituyen el campo de trabajo de varios de los actuales estudios.

## DATOS CARTOGRÁFICOS

En el esquema geológico integrado en este trabajo (Mapa 1), se hace una recopilación cartográfica de los afloramientos carboníferos de esta región. En la confección del mismo se utilizaron los datos recientes, facilitados por los distintos grupos dedicados a la prospección de estas formaciones.

La nomenclatura de los diversos asomos del Carbonífero se establece intentando compaginar la toponímica clásica con los nuevos criterios de subdivisión, establecidos por la investigación geológica regional.

Ciertos elementos de detalle cartográfico se suprimen para conseguir una mayor claridad y adaptación a la resolución de la escala a que se reproduce este esquema geológico. Con estos datos básicos y otros más concretos estratigráfico-estructurales, se elabora un esquema geológico —de carácter conjunto— que se piensa presentar al «Congreso de Estratigrafía y Geología del Carbonífero (Inglaterra 1967)» (\*).

Los datos de referencia de este esquema ofrecen valores diversos. Tienen una notable precisión en la zona cántabro-leonesa y oriente de Asturias. En la cuenca central asturiana y reborde occidental de la misma existen menos elementos de juicio. Los afloramientos del occidente de Asturias y región de El Bierzo, presentan lagunas de importancia en buen número de detalles

\*() Esquema geológico del Carbonífero en el noroeste de España. Escala 1:500.000. Oviedo 1967.

## DATOS ESTRUCTURALES

Sobre el ya mencionado esquema geológico (Mapa 1 y cortes geológicos, figs. 1 y 2), se representan los pormenores estructurales de índole general del conjunto carbonífero.

El rasgo estructural fundamental es la existencia de un amplio número de cabalgamientos de gran amplitud de cobijamiento («nappes de charriage»). Esta circunstancia estructural fue puesta al descubierto en amplias zonas del ámbito carbonífero por García-Fuente, Almela, Ríos, De Sitter y Martínez Álvarez.

Las estructuras cabalgantes están replegadas. Las nuevas formas estructurales orientan sus elementos de E. a O., en la mayor parte de los casos. Existen también fallas de desplazamiento horizontal y vertical de gran importancia.

El trazado de los frentes de cabalgamiento es arqueado. La disposición de los mismos imbricada, con multitud de escamas frontales. La continuidad de los elementos cabalgantes está alterada por fallas y otras estructuras secundarias; también por la fosilización y enmascaramiento de los depósitos y elementos tectónicos del Mesozoico y Terciario.

El estilo estructural tiene semejanzas apalachenses. La agrupación en distintas unidades de cabalgamiento es aún difícil. Provisionalmente parecen poder distinguirse las siguientes: 1) Unidad de Ficos; 2) Unidad de Bebeño-Sueve-Camporredondo; 3) Unidad del Bernesga; 4) Unidad de Luna (¿Esla?); 5) Unidad de Peñas, y 6) Unidad de Salas. Las vergencias locales de los elementos cabalgantes son, sucesivamente, hacia el S., E. y N.

El trazado fuertemente arqueado que describen materiales y estructuras, es una creación conjunta de la tectónica y denudación. Las fallas horizontales acentuaron el arqueamiento; también las múltiples, complejas y diversas imbricaciones, junto con las estructuras de replegamiento con este mismo carácter o de simple ondulación. La erosión al actuar asimétricamente en estas formas estructuradas y, de manera particular, sobre los conjuntos imbricados replegados, determinó la aparición de elementos curvados no reales, en su expresión espacial.

Los despegues que permiten la aparición de las estructuras cabalgantes directrices, están condicionados por accidentes profundos, que repercuten sobre los tramos más competentes del conjunto carbonífero y, especialmente, del substrato precarbonífero.

Los esfuerzos orogénicos iniciales determinan la formación de los grandes cabalgamientos. Con cierto sincronismo respecto a éstos, empiezan a originarse las estructuras de replegamiento. Ondulaciones anticlinales y sinclinales sencillas en principio, las cuales, los sucesivos y continuados esfuer-



zos acentúan. Aparecen, en consecuencia, conjuntos de deformaciones secundarias, así como dislocaciones de gran trascendencia.

La tectogénesis es compleja y continuada. Las importantes estructuras orogénicas son pre-estefanienses. Con las fases de Curavacas o Palentina y Leoniense, en el ámbito cántabro-leonés, y la Astúrica, en Asturias occidental. Las deformaciones post-estefanienses y pre-triásicas tienen menor intensidad y distinta distribución temporal en Asturias y región cántabro-leonesa. Durante el Mesozoico y Terciario, los esfuerzos residuales a la actividad deformadora de la cobertera, activan ciertos accidentes hercínicos, y permiten la aparición de otros secundarios de dislocación.

#### ADDENDA SOBRE DISCUSIÓN

El Sr. García-Laygorry expone, como los estudios que realiza en la zona de Riosa manifiestan la existencia de niveles altos del Westfaliense y expresa la opinión de que, los diversos paquetes de la Cuenca Central son más altos de lo que se refleja en los gráficos de esta comunicación.

El conferenciante agradece la acertada sugerencia del Sr. García-Laygorry y manifiesta lo siguiente: 1) Que los datos exclusivamente utilizados en esta síntesis son los publicados hasta la presente fecha; 2) Que informaciones privadas (Wagner) y personales (Bless) nos permiten abundar en esta opinión aun cuando no expresarla en este trabajo; 3) Que la interpretación de la cronología del Carbonífero, en nuestra opinión, se ha de realizar considerando una mayor variación cronológica de las formaciones litológicas, «caliza de montaña» y «productivo entre-calizas».

#### BIBLIOGRAFÍA

- ADARO, L.: *Emplazamiento de sondeos para investigar la prolongación de los senos hulleros por bajo de los terrenos mesozoicos.* «Bol. Inst. Geol. Min. de Esp.», XXXIV, páginas 9-79, 5 figuras, III láminas, Madrid, 1914.
- y JUXQUERA, J.: *Criaderos de hierro de Asturias.* «Mem. Inst. Geol. Min. de Esp.», 2 vols., 676 págs., X láms., Madrid, 1916.
- — —: *Atlas del estudio estratigráfico de la cuenca hullera asturiana.* «Inst. Geol. Min. Esp.», X láms., 1 mapa col. 1:100.000, Madrid, 1926.
- ALMELA, A., GARCÍA FUENTES, S. y RÍOS, J. M.: *Explicación de la Hoja 52, Proaza.* Mapa geológico de España, E. 1:50.000, 81 págs., 10 figs., XLVI láms., fot., Madrid, 1956.
- — y RÍOS J. M.: *Investigación del hullero bajo los terrenos mesozoicos de la costa cántabrica (zona de Oviedo-Gijón Villaviciosa-Infiesto).* «Empresa Nacional Adarós», 171 páginas, 1 mapa geol. Esc. 1:50.000, VII láms., 5 figs., Madrid, 1962.
- — y DEL VALLE DE LERSUNDI, H.: *Estudio geológico de la zona Ponferrada-Temor de Abajo.* «Brev. Geol. Astur.», año VII, núms. 1-4, págs. 3-26, 1963.
- FÄBER, A. y JARITZ, W.: *Die geologie des westasturischen Küstengebietes zwischen San Esteban de Pravia und Ribadeo (NW, Spanien).* «Geol. Jb.», núm. 81, págs. 679-738, fig. 3, 4 láms., Hannover, 1964.
- GARCÍA FUENTE, S.: *Explicación de la Hoja 77, La Plaza (Tercera).* Mapa geológico de España a escala 1:50.000, Madrid, 1959.
- HELMIG H. M.: *The geology of the Valderrueda, Tejerina, Ocejón and Sabero coal basins (Cantabrian mountains, Spain).* Leid. «Geol. Meded.», vol. XXXII, págs. 75-149, map. en col. y cort., Leiden, 1965.

- HERNÁNDEZ PACHECO, F. y ASENSIO AMOR, I.: *El manchón carbonífero estefaniense de la Punta de la Rubia, Figueras (Asturias).* «Bol. Real. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)», número 63, págs. 299-307, Madrid, 1965.
- JULWERT, M.: *Estudio geológico de la Cuenca de Belcño.* «Bol. Inst. Geol. y Min. Esp.», vol. LXXI, Madrid, 1960.
- ALOPIZ LLADÓ, N.: *Mapa geológico de los alrededores de Oviedo.* Escala 1:25.000. Public. Excma. Dip. Prov. Asturias, Oviedo.
- — —: *Estudio geológico del reborde meridional de la cuenca carbonífera de Asturias.* «Pirineos», t. X, núm. 31-32, págs. 33-177, 20 figs., XI láms., 1 lám. cort., 1 map. Mon. Geol. Inst. Geol. Apl. Oviedo, Zaragoza, 1955.
- — y MARTÍNEZ, J. A.: *Estudio de geología económica de la cuenca alta del Narcea (Asturias).* Conferencia resumida en «Brev. Geol. Astur.», año IV, núm. 1-2, Oviedo, 1959. (Inédito.)
- — —: *Estudio geológico de las sierras de la Coruxera, Mostayal y Monsacro.* «Brev. Geol. Astur.», año IV, núm. 3-4, págs. 3-132, cort. y fot., Oviedo, 1960.
- — —: *Estudio geológico de la región del Cabo Peñas (Asturias).* «Bol. Inst. Geol. Min. Esp.», tom. LXXII, págs. 233-248, 22 figs., 1 lám., 2 maps., 1:25.000, Madrid, 1961.
- — —: *Estudio geológico de la región del norte de Llanera (Oviedo).* «Bol. Inst. Geol. Min. Esp.», tom. LXXVI, págs. 143-232, 1 map. col. 1:25.000 cort., 21 figs., II láms. fots., Madrid, 1965.
- — —: *Estudio geológico de los alrededores de Avilés.* «Bol. Inst. Geol. Min. Esp.», tomo LXXVI, págs. 75-142, 1 map. color 1:25.000, 15 figs. cort., VII láms. fots., Madrid, 1965.
- MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A.: *Rasgos geológicos de la zona oriental de Asturias.* Publicación del Instituto de Estudios Asturianos, 132 págs., 5 cuads., 8 figs., 11 láms. y un esquema geológico en colores a escala 1:100.000, Oviedo, 1965.
- — y TORRES ALONSO, M.: *Mapa geológico del noroeste de España (Asturias, Galicia, León y Zamora, a escala 1:500.000).* En colores (10 tintas), Formato de 70 x 90. Publ. Oficina Regional de Proyectos de Oviedo, Oviedo, 1966.
- RIEMER, W.: *Geologie der östlichen Provinz Lugo (Spanien).* Diss. mathem. naturwiss. Fakultät westf. wilh. Univ. Münster i ref. II, 28, 46-47, Münster, 1964.
- SITTER, L. U. DE: *The structure of the southern slope of the Cantabrian Mountains: explanation of a Geological map with sections, scale 1:100.000.* «Leid. Geol. Meded.», vol. XXVI, págs. 235-264, Leiden, 1962.
- — y BOSCHAMA, D.: *Explanation geological map of the paleozoic of the southern Cantabrian Mountains-Sheet 1 (Pisuerga) 1:50.000.* «Leid. Geol. Meded.», núm. 31, págs. 191-238, Leiden, 1966.
- SJERP, N.: *The geology of the San Isidro-Porma area (Cantabrian Mountains, Spain).* «Leid. Geol. Meded.», tom. LXXI, págs. 55-128, 62 figs., II láms., 1 map. 1:50.000 en color y cortes, Leiden, 1966.
- VALDÉS LEAL, J.: *La tectónica de los Oscos (Asturias).* «Estud. Geol.», vol. XX, núm. 3-4, págs. 271-284, Madrid, 1964.
- WAGNER, R. H.: *A general account of the Palaeozoic rocks between the rivers Porma and Bernesga (León, NW, Spain).* «Bol. Inst. Geol. Min. Esp.», tom. LXXIV, 163 págs., esquema geológico y cortes, Madrid, 1963.
- — —: *Paleobotanical Dating, of upper Carboniferous Folding Phases in NW, Spain.* «Mem. Inst. Geol. Min. Esp.», tom. LXVI, 169 págs., LXXVII láms., Madrid, 1965.

Recibido el 24-7-67.



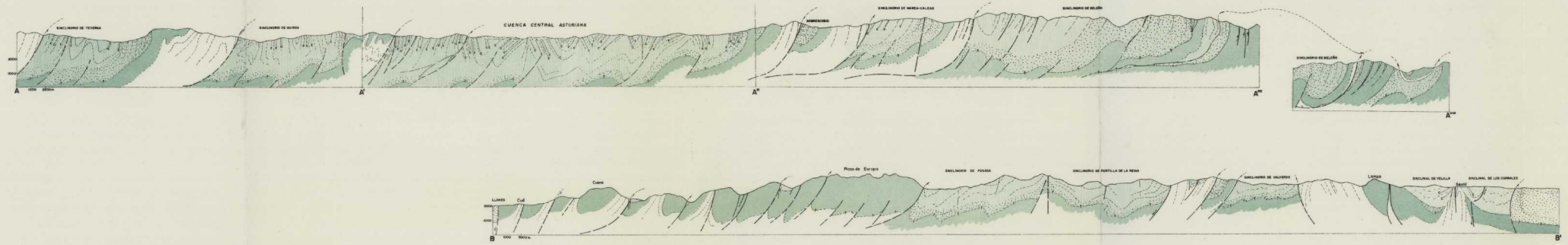
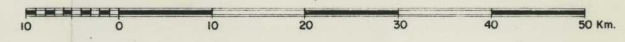


### ESQUEMA GEOLOGICO DEL CARBONIFERO EN EL NOROESTE DE ESPAÑA (1967)

por J. A. Martínez Alvarez con la colaboración de M. Torres Alonso

RECUBRIMIENTO (Mesozoico y Terciario)
  Westfaliense
  Dinantiense-Namuriense bajo.
  Rocas eruptivas

Estefaniense
  Namuriense Westfaliense bajo
  PRECARBONIFERO



NOMENCLATURA GEOCRONOLOGICA GENERAL		NOMENCLATURA GEOLOGICA-MINERA REGIONAL		DESCRIPCION ESTRATIGRAFICA
		ZONA ASTURIANA	ZONA CANTABRO-LEONESA	SUCINTA
RECUBRIMIENTO [POSTCARBONIFERO]	Cuaternario Terciario Mesozoico Pleistoceno			
Estefaniense	Grupo de Nereis			
Westfaliense	Grupo de Somo			
Namuriense	Grupo de Lena			
Visiense				
Tauromasiense				
SUBSTRATO [PRECARBONIFERO]	Durolite Gres Cámbrico Precámbrico			Durolite Sábico Cámbrico



E. DUPUY DE LÔME, J. E. COMA, C. FELGUEROSO y A. RODRIGUEZ PARADINAS

## EL PROCESO DE RECARBONIZACION Y SU APLICACION A LA INVESTIGACION DE HIDROCARBUROS GASEOSOS EN UNA ZONA DE ASTURIAS

### RESUMEN

El origen de los grandes yacimientos de gas del NO de Europa Central y del Mar del Norte, tiene una difícil explicación si se utilizan los clásicos principios genéticos de hidrocarburos. Ello indujo a sospechar que dichos gases provienen del Carbonífero por un proceso de recarbonización.

El principio es muy sencillo: en la época carbonífera, los restos vegetales, que posteriormente formarán una capa de carbon, sufren durante el proceso de hundimiento, por aumento de la temperatura, un fenómeno de carbonización. En este proceso disminuye el contenido en materias volátiles del carbon por desprendimiento de productos gaseosos, fundamentalmente metano y bióxido de carbono.

En la evolución de las cuencas sedimentarias, mesozoicas y terciarias, las capas de carbon pueden haber quedado recubiertas, y por nuevo hundimiento alcanzar profundidades donde la temperatura es superior a la que estuvo sometida durante la época carbonífera; el proceso de carbonización comienza otra vez (*recarbonización*) con nuevo desprendimiento de gas.

La parte norte de Asturias puede ser, en principio, una zona interesante donde se hubieran podido almacenar hidrocarburos gaseosos procedentes de la recarbonización.

Esta es la razón por la cual se emprendió en los permisos «Villavieosa» y «Gijón» una investigación que se basa en los principios de la recarbonización.

### INTRODUCCIÓN

El origen de los grandes yacimientos de gas del NO, de Europa Central y del Mar del Norte, que fundamentalmente se encuentran en el Permiano discordante sobre el Carbonífero, tiene una difícil explicación si se utilizan los clásicos principios genéticos de hidrocarburos. Ello indujo a sospechar que dichos gases provienen del Carbonífero por un proceso de recarbonización, y desde que se lanzó esta idea, se ha estudiado intensamente el origen de estos gases, habiéndose avanzado hoy mucho en este sentido.

Sin pretender aportar nada original respecto al proceso de recarboniza-

ción. expodremos a continuación sus principios básicos y posteriormente veremos su aplicación práctica a una zona de Asturias.

Las Compañías CEPSA y CHEPSA, esta última como operadora, han solicitado conjuntamente los permisos denominados «Gijón» y «Villaviciosa»; de esta forma, y por primera vez en España, se emprende la investigación de una zona basándose en los procesos de recarbonización.

CIEPSA, para el estudio de estos permisos ha llegado a un acuerdo de trabajo con el Instituto Geológico y Minero de España, de forma que la investigación de los mismos se está llevando a efecto por el personal técnico de ambas entidades en estrecha colaboración.

Son muchos los trabajos geológicos que existen sobre la región asturiana; cualquier referencia bibliográfica da buena prueba de ello, pero para nosotros, y por las circunstancias especiales de nuestra investigación, han constituido una valiosísima ayuda los dos siguientes: «La investigación del hullero bajo los terrenos mesozoicos de la Costa Cantábrica», de Almeida y Ríos y publicado por la Empresa Adaro, y «El estudio estratigráfico de la cuenca hullera», de Adaro, que aún hoy constituye una aportación geológica de primer orden en cuanto a la geología de la Cuenca Central.

#### EL PROCESO DE RECARBONIZACIÓN

El principio es muy sencillo: en la época carbonífera, los restos vegetales, que posteriormente formarán una capa de carbón, sufren durante el proceso de hundimiento, por aumento de la temperatura, un fenómeno de carbonización por el cual los vegetales van transformándose progresivamente en turba, lignito, hulla y antracita. En este proceso disminuye el contenido en materias volátiles del carbón por desprendimiento de productos gaseosos, fundamentalmente metano y bióxido de carbono.

Se admite que el gas producido por carbonización durante el período carbonífero emigró casi en su totalidad a la atmósfera, exceptuando una pequeña cantidad que permanece ligada al carbón. Al final del Carbonífero, durante los movimientos hercinianos, gran parte de las capas de carbón se elevaron por el plegamiento, deteniéndose el proceso de carbonización.

Durante la evolución de las cuencas sedimentarias, mesozoicas y terciarias, las capas de carbón pueden haber quedado recubiertas y por nuevo hundimiento alcanzar profundidades donde la temperatura es superior a la que estuvo sometida durante la época carbonífera; no existe entonces equilibrio físico-químico y el proceso de carbonización comienza otra vez: *recarbonización* con nuevo desprendimiento gas. Por lo tanto, recarbonización y carbonización constituyen un mismo proceso, siendo la primera la renovación de la segunda.

Pueden haberse formado así grandes cantidades de gas, que si han encon-

trado un recubrimiento eficaz, y aquí juegan ahora un papel importante los sedimentos secundarios y terciarios, se habrá almacenado formando yacimientos de gas, algunos suficientemente importantes como para que se exploten industrialmente.

Expuesto así, muy en líneas generales, el proceso de recarbonización, admitido hoy por un gran número de investigadores y prospectores, hay que indicar que los estudios se han dirigido fundamentalmente a resolver un sinnúmero de cuestiones que pueden resumirse así:

Clases de gas desprendido en la recarbonización.

Cantidad de gas resultante del proceso.

Relación entre materias volátiles de un carbón y temperatura a la que está sometido.

Migración.

#### *Clases de gas desprendido en la recarbonización*

Se ha tratado de obtener en el laboratorio, mediante ensayos de carbonización artificial, predicciones sobre la clase y cantidad de gases formados en este proceso; sin embargo, surge siempre la dificultad de seleccionar las investigaciones a fin de equiparalas a las condiciones naturales. Para activar la carbonización y suplir así el lapso de tiempo tan grande (millones de años) que dispuso la Naturaleza para efectuar estos procesos, se recurre en el laboratorio al molido mecánico. A pesar de las dificultades expuestas, estos ensayos demuestran siempre que, por calentamiento de un carbón se obtiene metano, bióxido de carbono, cantidades variables de hidrocarburos elevados, y algunos otros elementos.

Fitzgerald y van Krevelen investigaron las cantidades de gas que se desprenden de carbones con alto contenido en materias volátiles en función de la temperatura. Los ensayos demostraron que por calentamiento de este tipo de carbones se pueden formar considerables cantidades de hidrocarburos elevados, deduciéndose que el enlace que existe entre estos hidrocarburos elevados y el carbón disminuye al aumentar la temperatura.

Jüngten y Karweil realizaron ensayos en el mismo sentido; partiendo de un carbón con el 43,2 por 100 de materias volátiles observaron que por molido y calentamiento se desprende metano, bióxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos elevados. En el cuadro I quedan reflejados sus resultados; queda bien patente que por aumento de temperatura, lo que en la Naturaleza equivale a aumento de profundidad, decrecen las materias volátiles, es decir, aumenta el grado de carbonización; igualmente puede apreciarse que en el gas obtenido los componentes principales son el metano y bióxido de carbono.

CUADRO 1

Clases y cantidad de gas desprendida en función de la temperatura con molido. (Jüntgen y Karweil)

Temperatura de molido (°C)	Decrecimiento de las materias volátiles (%)	Cantidad de gas (l/Kg. de carbón)							
		CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
50	—	traza	traza	—	—	—	—	—	—
150	0,6	0,121	0,037	—	—	—	—	—	—
200	3,4	0,795	0,237	0,008	0,030	0,008	—	—	—
250	6,4	2,803	0,440	0,577	0,889	0,193	0,096	0,036	trazas
310	6	4,615	0,750	0,745	1,200	—	0,500	—	0,064

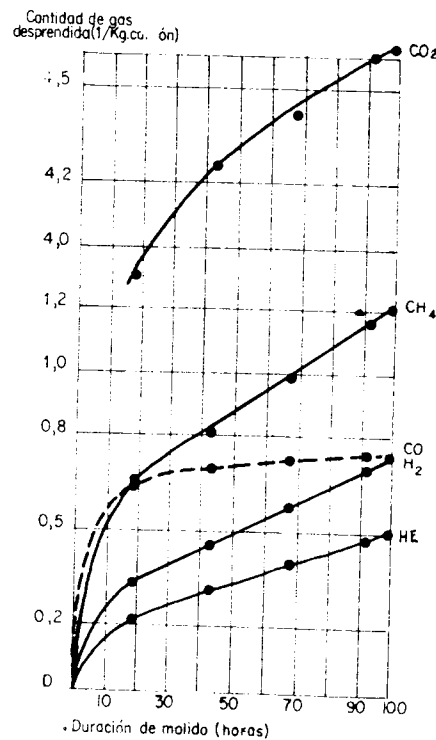


Fig. 1

El gráfico de la figura 1, debido también a estos mismo autores, refleja el desprendimiento de gas en función de la duración del molido mecánico que se efectuó a 310°. Al principio la velocidad de desprendimiento es máxima en todos los casos; después de veinte horas el desprendimiento toma un curso lineal para el metano, hidrógeno e hidrocarburos elevados; la

representación de la velocidad de desprendimiento del bióxido de carbono es por el contrario curva.

Fuera ya del campo del laboratorio, son muy interesantes también las investigaciones realizadas en sondeos profundos.

Así, por ejemplo, son muy elocuentes los resultados del sondeo profundo Münsterland 1, realizado en 1961-62, unos 40 kilómetros al N. de la cuenca minera del Ruhr; dicha perforación atravesó esta formación cortando 90 capas de carbón entre 1.850 y 3.700 metros. Los ensayos y resultados obtenidos (Gedenk, Hedermann y Rühl) en los gases de las capas de carbón de este sondeo se representan, resumidos en el cuadro 2. Puede apreciarse, que el crecimiento de la carbonización, al aumentar la profundidad (temperatura), se verificó muy proporcionalmente a la disminución de las materias volátiles de los carbones. Se observa la preponderancia del metano sobre el resto de los hidrocarburos, y los análisis demostraron que al aumentar la carbonización hay un decrecimiento más o menos continuo del contenido en etano y homólogos más altos; de este modo desaparecen primero el hexano, luego el pentano, finalmente el butano, hasta que últimamente el propano aparece sólo como indicios.

Se han obtenido resultados muy semejantes a los del sondeo Münsterland 1 en otras perforaciones profundas del NO. de Alemania (Groothusen, Hoya, etc.).

Muy instructivas son las comparaciones que establece Patijn entre los análisis del grisú de la mina Emma, del gas pérmico de Groningen (sondeo de Slochteren) y de los gases de dos sondeos (Groothusen y Hoya) que atravesaron el Carbonífero:

	Mina Emma Carbón 80 % m. v.	Sondeo Slochteren del Perm.	Sondeo Groothusen del Carb.	Sondeo Hoya. del Carb.
CH <sub>4</sub> .....	93,3	81,3	75	86,5
Hidrocarburos elevados .....	0,2	3,5	16	13,5
CO <sub>2</sub> .....	0,4	0,8	2/7	trazas
N <sub>2</sub> .....	5,8	14,4	2/3	—
O <sub>2</sub> .....	0,2	trazas	—	—
Argón .....	0,1	trazas	—	trazas

La diferencia fundamental entre el grisú y los gases de los sondeos (que se interpretan como recarbonización), es el contenido en hidrocarburos elevados, muy reducido en aquél.

La circunstancia de que el gas permiano de Groningen presente menos hidrocarburos elevados que los gases de los sondeos que alcanzaron el Car-

CUADRO 2

Composición de los gases en las capas de carbón del sondeo Münsterland 1, según Geden, Hedemann y Ruhl (Resumido)

Profundidad (m) . . . . .	1843	1938	1974	2037	2129	2239	2292	2346	2468	2480	2520	2597	2631	2688	2808	2918	2970	2992
Materias volat. (% vol.) . . . . .	33,5	29,8	27,3	26,8	27,5	23,1	23,4	20,0	18,8	18,3	16,0	15,8	14,1	12,4	13,0	8,5	8,1	7,7
Metano (% vol.) . . . . .	97,7	98,1	98,8	98,0	98,9	98,0	97,1	98,6	98,4	97,8	97,5	99,01	98,24	99,3	99,6	98,6	99,4	99,3
Etano (% vol.) . . . . .	1,60	1,17	0,70	1,68	1,56	1,61	2,44	1,26	1,5	2,05	2,30	0,98	1,70	0,68	0,31	1,39	0,54	0,59
Propano (% vol.) . . . . .	0,46	0,42	0,21	0,27	0,14	0,26	0,34	0,09	0,19	0,16	0,09	0,019	0,063	0,004	—	—	0,04	0,09
n-butano (% vol.) . . . . .	0,14	0,150	0,14	0,036	0,014	0,02	0,03	0,01	0,002	6,04	0,003	0,001	0,001	—	—	—	—	—
n-pentano (% vol.) . . . . .	0,033	0,036	0,016	0,002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
n-hexano (% vol.) . . . . .	0,01	0,008	0,003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

bonífero, parece explicarse por el hecho de que durante la migración del gas, desde la roca madre carbonífera a la roca almacén, permiana, los hidrocarburos elevados menos estables se transformaron en metano, estable.

Como resumen de todos estos y otros muchos ensayos e investigaciones, cabe concluir que una capa de carbón que por hundimiento va alcanzando temperaturas crecientes, sufre una carbonización, disminuyendo su contenido en materias volátiles, y desprendimiento de gases; éstos se componen fundamentalmente de metano y bióxido de carbono, pero aparecen también hidrocarburos más elevados, nitrógeno, hidrógeno y otros elementos (argón, oxígeno, etc.).

Los hidrocarburos elevados suelen presentarse en una proporción inferior al 15 por 100 del volumen total de gases y la clase de aquéllos es función del grado de carbonización de las capas de carbón.

La carbonización y el grado que ha alcanzado ésta, depende principalmente de la temperatura, y ésta a su vez, de la profundidad y del grado geotérmico.

La presión no tiene importancia en la transformación química, y como demostraron van Krevelen y Teichmüller, sólo influye en el cambio estructural del carbón.

#### Cantidad de gas resultante del proceso

Patteisky es uno de los primeros investigadores que se ocuparon de la parte cuantitativa del proceso de formación de gas. Partiendo de los análisis de carbón de la cuenca de Ostrau-Karwin y de los ensayos realizados por Bergius sobre una carbonización artificial a elevada presión y temperatura, supuso que según los diferentes estados de la metamorfosis se modifica la proporción metano/anhidrido carbónico. Tomando como composición de partida los valores de los análisis de Petraschek de carbones austriacos de diferentes grados de metamorfismo, calcula que cuando, por ejemplo, la proporción de anhidrido carbónico a metano es 2:1, la carbonización de 1,135 toneladas de lignito a una tonelada de hulla seca produce, entre otros, 46 m<sup>3</sup> de anhidrido carbónico, y 21 m<sup>3</sup> de metano. Acentuando la carbonización, 1,145 toneladas de hulla seca proporcionan 36 m<sup>3</sup> de anhidrido carbónico, 55 m<sup>3</sup> de metano y otros compuestos, mientras que una tonelada de hulla grasa produce 38 m<sup>3</sup> de anhidrido carbónico y 105 m<sup>3</sup> de metano. El cálculo lo extiende a otros casos según la relación anhidrido carbónico/metano.

Parece generalmente admitido que el metano y anhidrido carbónico se originan a lo largo de todo el proceso de carbonización, con la particularidad de un aumento notable en la producción del metano en la etapa antracítica, mientras que en ese período las cantidades de anhidrido carbónico pro-

ducidas permanecen más estacionarias. Con tal motivo indicamos en la figura 2 la distribución, según Mott, de las cantidades de gas producidas durante la carbonización.

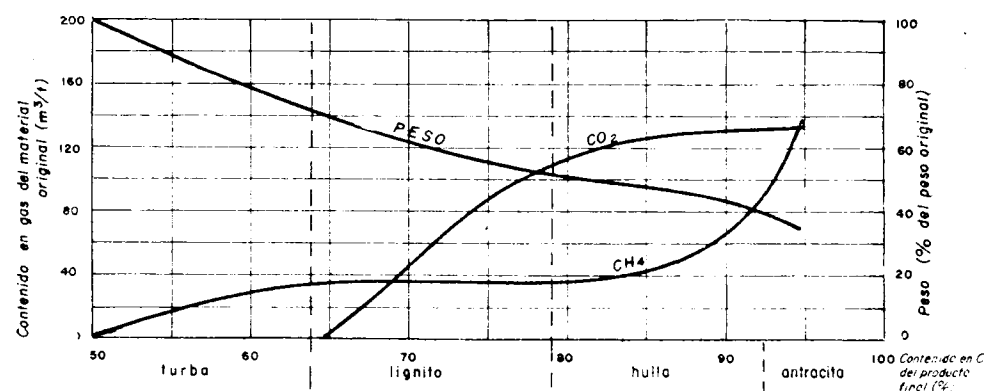


Fig. 2. — Cantidades de  $\text{CH}_4$  formadas durante la carbonización (según Mott)

W. A. Uspenskiy calculó la composición y cantidades de gas según sistema de 10 ecuaciones con 11 incógnitas, establecido por él; reproducimos sus valores convertidos en el cuadro 3.

CUADRO 3

Cantidades de productos gaseosos formados en la carbonización. Uspenskiy. ( $\text{m}^3$  t carbón)

En el paso de:	Turba a lignito	Lignito a hulla	Hulla a antracita
$\text{CH}_4$ .....	68,3	161,0	192,0
$\text{CO}_2$ .....	167,7	124,9	23,4

Igualmente Jüntgen y Karweil calcularon las cantidades de gas producidas en el proceso, y estos mismos autores establecieron comparaciones entre distintos investigadores, según figura 3. Puede apreciarse una relativa coincidencia en los cálculos de la cantidad de metano, mientras que para el caso del anhídrido carbónico la coincidencia es menos satisfactoria.

Creemos que no es oportuno continuar examinando los diferentes ensayos y cálculos efectuados con motivo de la carbonización; la técnica de los hornos de coque ha desarrollado intensamente el estudio de los mismos. Y ahora que citamos los hornos de coque, conviene recordar, para establecer paralelismo con la recarbonización, que allí por calentamiento del carbón se obtienen hidrocarburos saturados y no saturados, anhídrido carbónico, hidrógeno, nitrógeno, etc., y además alquitrán, amoníaco, benzol, etc.

Con los pocos ejemplos citados, hemos querido resaltar fundamentalmente las importantes cantidades de gas que una capa de carbón puede liberar en el proceso de recarbonización; Stuffken ha calculado que una capa de carbón de 30 metros de espesor (suma de varias capas) y 1  $\text{Km}^2$  de extensión, produce  $156.10^9$   $\text{m}^3$  de gas cuando el contenido en volátiles desciende solamente en 1 por 100.

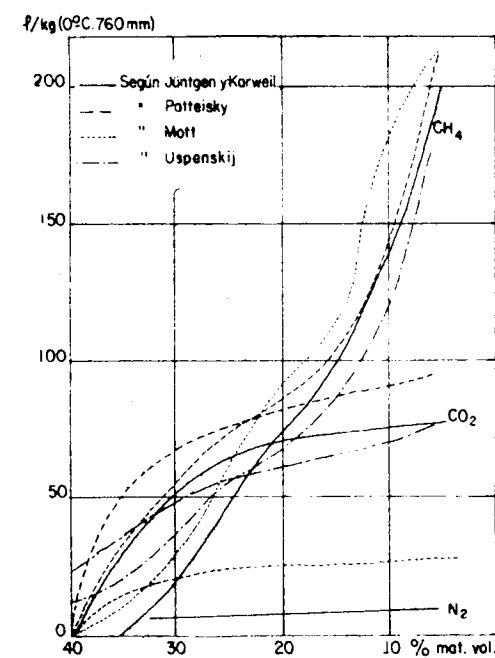


Fig. 3

Relación entre materias volátiles y temperatura

Durante el proceso de recarbonización, la relación entre el contenido en materias volátiles de un carbón y la profundidad es de gran importancia ya en el campo práctico de la prospección de hidrocarburos gaseosos; nos explicaremos: cuando tratamos de investigar las posibilidades de hidrocarburos gaseosos, que por recarbonización, puede presentar una zona, lo primero que tratamos de conocer es si este proceso se puede haber producido. Para ello comenzamos por averiguar el contenido en materias volátiles que los carbones presentaban al final del Carbonífero (estudio de cuencas mineras contiguas, etc.), y luego, por estudio geológico de la zona, deduciremos a qué profundidad se encuentran hoy dichas capas. Si conocemos el tanto por ciento de materias volátiles que una capa de carbón ha de contener en función de su profundidad durante el proceso de recarboniza-

ción, estamos en disposición de saber si en esta región que estudiamos se produjo o no este fenómeno y, por lo tanto, si hubo o no desprendimiento de gas. Así, por ejemplo, si una o varias capas de carbón con un cierto contenido en materias volátiles han alcanzado una profundidad a la cual, y según la recarbonización, el tanto por ciento de materias volátiles que le corresponde es menor que el de partida, la recarbonización debe haberse producido con el consiguiente desprendimiento de gas.

Cabe mencionar, a título de ejemplo, que en una zona del NO. de Alemania y Países Bajos, se han realizado cálculos, partiendo de unas ciertas hipótesis que prevén el grado de recarbonización (% de materias volátiles) de las capas de carbón en función de la profundidad a la que se encuentran. En estos cálculos es necesario tener muy en cuenta el grado geotérmico de la zona.

En el litoral asturiano, para que en una capa de carbón con un 40 por 100 de materias volátiles comience la recarbonización, aquélla debe haber alcanzado unos 1.900 metros de profundidad, aproximadamente.

Hay que tener presente que para que se efectúe o dé comienzo la recarbonización, se requiere un período de tiempo grande, y que pueden existir capas de carbón que por hundimiento reciente han alcanzado profundidades a las que corresponderían, por recarbonización, un menor contenido en materias volátiles del que realmente presentan; ésta no ha comenzado todavía o está en sus principios.

### *Migración*

Según se desprende de los cálculos (Jüngten y Karweil y otros), el gran volumen de gas formado en la recarbonización sobrepasa la capacidad de almacenamiento de la capa de carbón productor, y por ello debe emigrar poco a poco a las rocas vecinas, mientras que por progresiva recarbonización se van formando nuevas cantidades de gas que empujan a las anteriores.

Estos fluidos avanzaron así desde la capa de carbón aprovechando los pasos que ofrecían permeabilidad suficiente, llegando a la atmósfera o quedando atrapados en estructuras del propio carbonífero o terrenos más modernos.

Se impone, pues, en cada caso, un estudio de la evolución paleotectónica de la cuenca carbonífera y su recubrimiento. Se obtendrá así una visión histórico-geológica de la migración de los gases y también donde pudieron almacenarse; es muy conveniente que la subsidencia de las capas, y por tanto la recarbonización, se produzca ya cuando existan, o al menos sea concomitante con coberteras y estructuras capaces de retener los gases formados.

Hay que tener presente que el metano emigra por efusión a través de

fracturas y zonas permeables y también por difusión a través de estratos relativamente impermeables, sobre todo si dispone de tiempo suficiente. Ello ha sido causa de que en muchos casos los gases, por su gran poder de difusión, se perdieran escapando a la atmósfera. Muy importante, para evitar esa fácil difusión, es el papel impermeable de las formaciones evaporíticas tan frecuentes, por fortuna, en el Triásico.

### POSIBLE EXISTENCIA DE ACUMULACIONES GASEOSAS EN ASTURIAS DEBIDAS A LA RECARBONIZACIÓN

Asturias estuvo cubierta por los mares paleozoicos hasta el Westfaliense, formando una cuenca que quedaba limitada al Oeste por el cratón gallego. Además de los sedimentos precambrianos se depositaron los cambrianos, silurianos, devonianos y carboníferos.

Al final del Westfaliense se produce la orogenia herciniana, elevándose el macizo asturiano como cordillera de forma arqueada, con la concavidad hacia el Golfo de Vizcaya. El Estefaniense se deposita alrededor de este macizo emergido e invade parcialmente los valles. Dicho macizo no recibirá ya más sedimentación, a excepción de los bordes, y la tectónica alpina modificará en parte su morfología. Por el contrario, la parte septentrional de Asturias, aproximadamente desde el paralelo de Oviedo hacia el Norte, se hundirá, y sobre el Carbonífero y demás sedimentos paleozoicos se depositará el Permotriásico, Triásico, Liásico, Jurásico y parcialmente el Cretáceo y Terciario.

### *Las series estratigráficas*

La cuenca central carbonífera se sitúa al S. de Oviedo; al N. de esta población existe una depresión alineada de E. a O. y que posee una anchura media del orden de los 8 ó 10 kilómetros; en ella se alojan sedimentos que fundamentalmente pertenecen al Cretáceo y Oligoceno. Desde esta depresión y ya hasta la costa, encontramos sedimentos triásicos, liásicos y jurásicos. Vamos a ocuparnos brevemente de la estratigrafía de la primera y última zona, es decir, de la cuenca central carbonífera y del mesozoico del litoral.

### *Carbonífero.*

Aflora fundamentalmente desde el Puerto de Pajares hasta las inmediaciones de Oviedo, presentándose aquí las principales explotaciones carbo-



níferas que en conjunto forman la denominada cuenca central asturiana. La serie estratigráfica es en resumen la siguiente (fig. 4):

En la parte inferior una serie calcárea de unos 300 metros de espesor, que en la región se denomina «caliza de montaña». Son calizas gris oscuro en fractura, fétidas, y en general masivas. En su zona basal se presentan unos bancos de caliza rojiza, bien estratificados y que reciben el nombre de «grioto».

Sobre la caliza de montaña descansan unos 300 metros de pizarras y areniscas alternantes, tramo que los geólogos acostumbran a llamar «im-productivo pizarroso».

Siguen después unas pizarras y areniscas que alternan con bancos de calizas, intercalándose las primeras capas de carbón, capas que en la cuenca central apenas tienen representación. Este tramo se denomina «productivo entrecalizas» o simplemente «entrecalizas». Los bancos calcáreos contienen abundantes fusulinas y fusulinellas y presentan un espesor medio de unos 10 metros, salvo el primero, que en el borde oriental de la cuenca central es mucho más potente; este primer banco se suele designar con el nombre de «caliza masiva» debido a que más al Este de la cuenca central adquiere casi tanta potencia como la de la propia caliza de montaña.

Las areniscas son a veces muy cuarcitosas y en ocasiones se presentan como verdaderas cuarcitas.

Sobre la serie de entrecalizas se ha depositado el «productivo pizarroso», tramo en el que entre las pizarras y areniscas aparecen capas de carbón que se explotan en la cuenca central; se intercalan también a veces calizas, pero menos potentes que las de «entrecalizas». Llegamos así hasta las pudingas; éstas son conglomerados silíceos de cantos bien rodados y en general de tamaño superior a los 15 cm.; en la cuenca central las pudingas se presentan en dos niveles de potencia variable, pero del orden de 20 a 30 metros cada uno, separados por una estrecha zona de pizarras y areniscas. El espesor de las pudingas disminuye hacia Levante y éstas van pasando paulatinamente a areniscas. Estos niveles conglomeráticos constituyen un nivel guía excelente.

Sobre las pudingas descansa una serie de pizarras y areniscas entre las que se intercalan las principales capas de carbón de la cuenca central: paquetes de San Antonio, María Luisa, Sotón, Entrerregueras, Sorriego, Modesta y Oscura, que en conjunto se denominan tramo de Sama; la serie está coronada por unos bancos de conglomerados calizos (gonfolitas).

Las potentes pudingas que aparecen en la zona de Riosa y El Padrún (al noroeste y norte de la cuenca central, respectivamente) son, a nuestro juicio, equivalentes a las de la cuenca central. Aquéllas, que presentan a veces espesores superiores a los 500 metros, constan realmente de una alternancia de verdaderas pudingas, areniscas, pizarras y alguna capa de car-

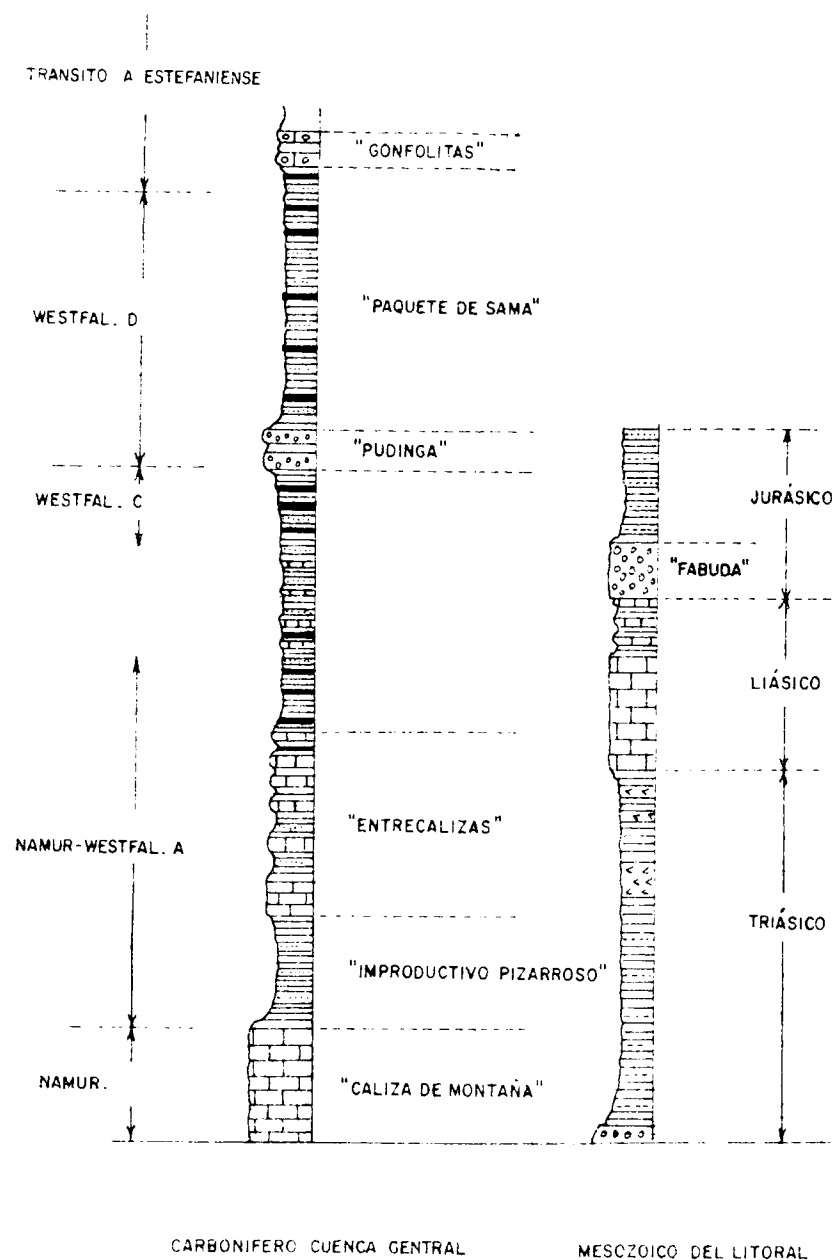


Fig. 4

bon («entrepudingas»). En la parte alta aparecen conglomerados de cantos calizos que serían equivalentes a las gonfolitas ya mencionadas. En nuestra opinión, y no somos los únicos ni los primeros en pensar así, la cuenca de Riosa está separada de la cuenca central por una gran falla cabalgante.

La datación de estos tramos carboníferos varía según los distintos investigadores, y aún hoy se presta a muchas discusiones. Normalmente se considera al grioto como viseano y a la caliza de montaña namuriense. La serie improductivo pizarroso y entrecalizas parecen pertenecer al Namuriense-Westfaliense A, siendo en este tramo en donde se observan las mayores disparidades en cuanto a clasificación. Es posible que este Namuriense-Westfaliense A se prolongue aún en la parte inferior del productivo pizarroso. Ultimamente parece ponerse en duda la existencia del Westfaliense B en la cuenca central. Las capas de carbón inferiores a la pudinga («Generallas»), pertenecen al Westfaliense C y la pudinga al Westfaliense D inferior.

El paquete de Sama que se superpone a las pudingas se ha clasificado como Westfaliense D y su parte superior, a la altura del tramo de la Oscura y las ganfolitas, como tránsito al Estefaniense.

Al Oeste de la cuenca central aparecen pequeñas cuencas laterales (la Plaza, qurós, etc.), también westfalienses, que, aún teniendo unas características estratigráficas muy semejantes a las de la cuenca central, presentan con respecto a esta última las siguientes diferencias:

1) La serie no está tan completa como en la cuenca central, terminándose antes de alcanzar la zona de las pudingas.

2) Los bancos calcáreos de estrecaizas parecen perder importancia, y el primer banco, la «caliza masiva», no está individualizado por su potencia, como ocurre en el borde oriental de la cuenca central.

3) Las capas de carbón explotables se presentan mucho antes que en la cuenca central: ya en la parte superior de «entrecalizas» e inmediatamente encima de ellas.

Desde el punto de vista genético, estas cuencas laterales y la central pertenecieron en sus momentos a la misma cubeta de sedimentación carbonífera.

Como cifra orientativa estimamos que el espesor del Carbonífero de la cuenca central es del orden de los 1.500 metros, incluida la caliza de montaña.

#### *Mesozoico de la zona litoral.*

Como puede apreciarse en el trabajo de Almela y Ríos referente a esta zona, la serie, en esquema, es la siguiente (figura 4):

Un Triásico que comienza con un conglomerado basal, calizo y silíceo, no siempre presente, y sobre el que descansa una típica serie del Buntsand-

stein, formada fundamentalment por areniscas, en general margosas, y también arcillas; sorprendentemente no se presentan aquí las calizas del Muschelkak y el Keuper es también característico: arcillas, yesos, sales, etc. La formación triásica posee sus conocidos colores abigarrados, con una marcada preponderancia de los tonos rojizos.

Sobre el Triás y en concordancia descansa el Liásico que se compone de un tramo calizo en la parte inferior y otro margoso en la superior. El paquete calcáreo, de 200 metros o más de espesor, consta de calizas grises bien estratificadas y, en la generalidad de los casos, muy pobre en fósiles.

Sobre las calizas yace el Liás margoso, serie compuesta por una alternancia de bancos finos y bien marcados de margas calizas y margosas grises con abundantes restos fósiles: terebrátulas, belemnites, ammonites, etc.

Encima reposa con una ligera discordancia el Jurásico; en su base se presenta un conglomerado silíceo de cantos rodados con espesores superiores a veces a los 100 metros y dispuesto en varios bancos entre los que se intercalan margas y arcillas. Hacia el N.-NE. de la zona que nos ocupa estos conglomerados, que en la región se denominan «piedra fabunda», pasan lateralmente a una formación arcilloso-arenosa de colores variados.

La formación de los conglomerados o su equivalente arcilloso-arenosa descansa, como ya hemos dicho, en ligera discordancia sobre su yacente liásico, de modo que unas veces reposa sobre el Liás margoso y otras lo hace directamente sobre el tramo calizo liásico.

Sobre la formación fabuda, yace un flysch margo-areniscoso con algunos bancos de calizas intercalados; representa ya el Jurásico superior. Las tonalidades son fundamentalmente el gris y el amarillo.

Las areniscas suelen contener restos vegetales y el carácter continental de la formación se acentúa al ascender estratigráficamente en la serie, constituyendo una facies muy parecida al típico Weald y es posible que los niveles más altos sean ya cretáceos.

Los espesores tanto del Triás como del Liás y Jurásico aumentan de S. a N. y quizá más concretamente hacia el NE. En un punto de la costa, intermedio entre Gijón y Villaviciosa, pueden estimarse las siguientes potencias:

Jurásico	450 m.
Liásico	450 m.
Triásico	1.000 m.
	-----
Total:	1.900 m.

LA RECARRONIZACIÓN Y LAS POSIBLES ACUMULACIONES DE GAS BAJO EL MESOZOICO DE ASTURIAS

Si se observan las directrices tectónicas de la región asturiana, es fácil imaginar que el Carbonífero, tanto de la cuenca central como el de las laterales, debe prolongarse hacia el N. y NE bajo el Mesozoico que existe entre Oviedo y la costa. Este aspecto geológico fue ya apreciado desde antiguo y ello fue causa de una intensa búsqueda de carbón bajo el Secundario mediante sondeos. Se puso así de manifiesto la existencia de aquél, y de esta forma fue localizada, bajo la cobertera triásica, la mina de La Camocha, pocos kilómetros al S. de Gijón. Por lo tanto, la existencia del Carbonífero productivo bajo el Mesozoico del litoral es un hecho real y comprobado, al menos en algunas zonas.

En adelante, al hablar del Mesozoico del litoral, nos referiremos a la zona que existe entre la costa y la depresión cretáceo-oligocena de Oviedo, es decir, al ámbito donde se ha sedimentado el Triásico, Liásico y Jurásico. La disposición tectónica que cabe esperar aquí es como se indica esquemáticamente en la figura 5: un Secundario suavemente plegado, cuya serie estratigráfica hemos descrito anteriormente y que descansa transgresivamente sobre el Carbonífero o sedimentos más antiguos. Dichos estratos paleozoicos están afectados por la tectónica hercínica, presentando pliegues mucho más agudos que los del Mesozoico y existiendo además importantes fallas cabalgantes de empuje hacia el Sudeste.

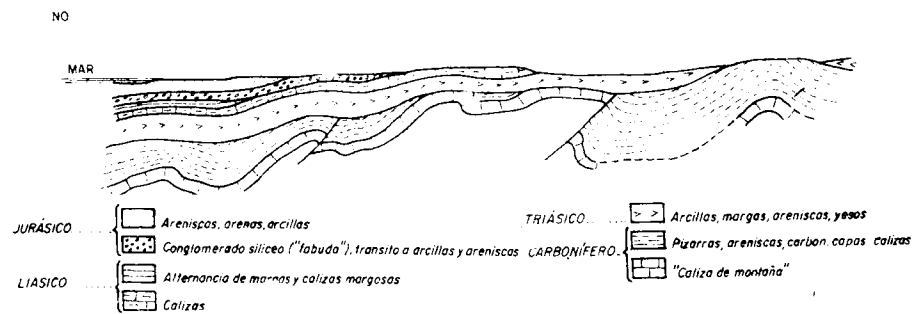


Fig. 5

Expuestos así los rasgos geológicos fundamentales, estamos ya en disposición de abordar el tema sobre si se ha efectuado o no la recarbonización.

Para ello conviene indicar que el carbón de La Camocha es una hulla con un contenido de materias volátiles del orden del 38 por 100 al 40 por 100. Según una publicación de P. Sampelayo, en dichas explotaciones al transversal de la planta segunda cortó, entre capas de carbón y carboneros, un

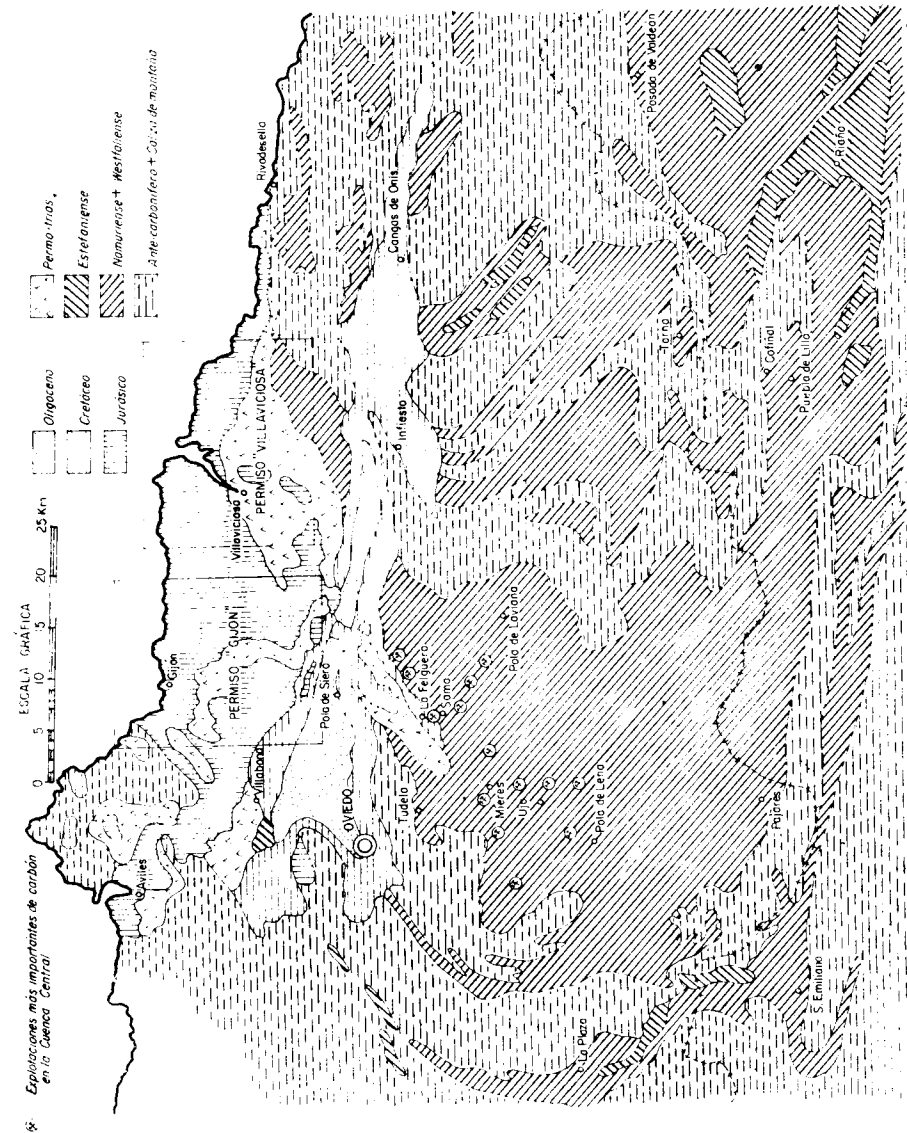


Fig. 6

total de 49 capas, cuyas potencias sumadas arrojan un espesor de 29 metros de carbón.

Ya hemos indicado que para que en un carbón con el 40 por 100 de materias volátiles comience la recarbonización, es preciso que alcance una profundidad de unos 1.900 metros aproximadamente.

¿Pueden en esta zona haber alcanzado las capas de carbón dicha profundidad crítica? Vimos ya que a la altura de la costa la potencia total del Mesozoico es del orden de los 1.900 metros, y si a ello agregamos el espesor del Carbonífero existente entre la base del Triás y la capa o capas de carbón, se concluye que dichos niveles han sobrepasado la profundidad exigida para que dé principio el fenómeno de la recarbonización. Además es preciso tener en cuenta que últimamente se admite que en muchos casos no es necesario alcanzar esta cifra crítica teórica, ya que el tiempo puede suplir en parte a la profundidad. Hedeman indica que antes de los 1.200 metros no cabe esperar una recarbonización.

¿Dónde puede haberse almacenado el gas así producido?

Como es lógico los gases habrán emigrado a las zonas permeables más altas del Carbonífero; éste, como ya hemos visto, presenta calizas que, en principio, pueden ser excelentes rocas almacén si presentan suficiente fracturación y si tienen buena cobertura. De la eficacia real de las capas calcáreas de «entrecalizas» como roca almacén, nos habla el resultado del sondeo de Caldones. Dicha perforación realizada unos 11 kilómetros al S. de Gijón, fue emboquillada en el Triás y después de atravesar 332 metros en estos terrenos, cortó un Carbonífero constituido por una alternancia de calizas y pizarras («entrecalizas»); al cortar uno de estos bancos calcáreos a 563 metros de profundidad, brotó gas a una presión de unas 50 atmósferas. Dicho fluido estuvo saliendo por la boca del sondeo durante tres meses con producciones a veces de hasta 17.000 m<sup>3</sup>/día. Las malas condiciones del pozo y la inundación del mismo por el agua impidieron la continuación de este flujo gaseoso.

Cabría preguntarse cómo estando las capas de carbón estratigráficamente por encima de las calizas de montaña y entre calizas, el gas producido en aquéllas puede llegar a éstas; hay que tener en cuenta que una vez que el gas ha rellenado todas las zonas permeables superiores a las capas de carbón productoras, puede emigrar lateralmente por efusión y difusión, y en virtud de la estructuración hercínica del Carbonífero alcanzar las calizas mencionadas. En este mismo sentido conviene resaltar la importancia de los cabalgamientos que se presentan dentro del Carbonífero; las calizas de montaña pueden haberse colocado encima de paquetes carboníferos más modernos y de este modo el gas de recarbonización alcanzará fácilmente a las calizas de montaña, que por su fracturación y potencia constituyen una roca almacén de primer orden.

Puede ocurrir también que todo o parte del gas producido no quede retenido en el Carbonífero y pase a las areniscas del Bunt; éstas tienen una excelente cobertera impermeable constituida por arcillas y evaporitas triásicas. La impermeabilidad de la cobertera es de las cuestiones más delicadas en el proceso de recarbonización; el gas por difusión puede atravesar lentamente zonas que en principio podrían considerarse como coberteras impermeables; sin embargo, hay que advertir que actualmente se considera en Alemania a las arcillas del Keuper como una cobertera relativamente buena, pero sobre todo, como ya indicamos, las evaporitas constituyen una excelente barrera.

El Triás asturiano posee varios niveles de evaporitas y concretamente el sondeo de San Justo atravesó un Keuper, que además de una serie de niveles de yesos, posee una capa de sal con un espesor del orden de los 80 metros.

La recarbonización debió comenzar aproximadamente hacia el Jurásico medio; en esta época el Triásico poseía ya una cierta estructuración, pues como hemos visto, la «piedra fabuda» reposa en discordancia sobre el Lías. De este modo el gas al circular por las areniscas, quedaría alojado en los anticlinales o zonas estructuralmente altas, o también retenido por las posibles trampas estratigráficas.

En resumen: bajo el Mesozoico deben existir capas de carbón que están a suficiente profundidad como para que se haya efectuado en ellas la recarbonización; el gas así formado se puede haber almacenado en las partes altas y permeables del Carbonífero o también en las trampas que presentan las areniscas del Bunt. Quedan así claramente especificados los objetivos fundamentales para la investigación, y tendrán carácter preferente aquéllos que presenten una cobertera de evaporitas.

Aplicando los cálculos de Stufken, y teniendo en cuenta los datos de La Camocha, cabe esperar por recarbonización un volumen de gas de  $156.29.10^9 : 30$ , es decir, unos  $140.10^9$  m<sup>3</sup> de gas desprendido por cada Km<sup>2</sup> cuando el contenido en materias volátiles disminuye en 1 por 100, lo que representa un hundimiento sólo de unos 100 metros.

A la vista de estas posibilidades, CUEPSA y CEPSA han solicitado dos permisos de investigación denominados «Gijón» y «Villaviciosa», que en líneas generales cubren el Mesozoico del litoral entre estas dos poblaciones.

La investigación geológica y geofísica se encuentra actualmente en pleno desarrollo. Se está estudiando con detalle la geología del Mesozoico y del Carbonífero. Los métodos geofísicos que se están empleando son: gravimetría, sísmica, aeromagnético y geoquímico.

Recibido el 15 VI 67.

ENRICO PERCONIG

## CONTRIBUCION DE LA MICROPALAEONTOLOGIA AL CONOCIMIENTO DE LOS YACIMIENTOS DE HIERRO DE BILBAO

### RESUMEN

La micropalaeontología ha constituido un factor importante en los estudios geológicos y mineros del criadero de hierro de Vizcaya, realizados por la Empresa Nacional «Adarzo». En el paquete estratigráfico se han podido reconocer varios niveles con características paleontológicas propias. Después de trazar los rasgos generales de la región vasco-cantábrica, se describen los caracteres de las microfácies de cada nivel, reproducidas en 70 fotomicrografías. Se dedica un interés especial a la caliza de *Toucasia*, en la cual arman los criaderos de hierro, tanto desde el punto de vista genético como desde el estructural. La caliza de *Toucasia* forma un horizonte continuo, de espesor variable, y no una sucesión de lentejones irregulares, como hasta ahora se suponía. La aparente lenticularidad de las calizas aflorantes es debida a la presencia de un gran número de fallas que afectan a la caliza y que interesan a toda la zona. Los estudios micropalaeontológicos permiten reconocer las formaciones cuya posición estratigráfica es superior o inferior a la caliza de *Toucasia* y localizar por consiguiente, sobre el terreno, las zonas interesantes para la investigación de masas calizas ocultas. Algunos sondeos hechos posteriormente han confirmado las hipótesis enunciadas.

### ABSTRACT

Micropalaeontology has been an important factor in the geological and mining studies of the iron bearing formations of Vizcaya conducted by the Empresa Nacional «Adarzo». Within the stratigraphic sequence it has been possible to recognize several units with distinct paleontological characteristics. After outlining the main features of the Basque-Cantabrian region, the characteristic microfacies of the different units are described and illustrated by 70 photomicrographs. Special attention is given to the *Toucasia* limestone, in which the iron ore is found, both from a genetic as well as a structural point of view. The *Toucasia* limestone forms a continuous horizon of variable thickness, and is not a series of irregular lenses, as has been previously supposed. The apparent lenticularity of the limestone is caused by the many faults which cut the limestone and which are present throughout the area. Micropalaeontological studies permit the determination of the formation of the formations as being above or below the *Toucasia* limestone, and thus permit the localization of zones of interest where additional hidden iron bearing limestone may be. A number of borings made afterwards have confirmed the ideas presented here.

## RIASSUNTO

Gli studi micropaleontologici hanno costituito una parte importante nella campagna di ricerca di giacimenti di ferro intrapresa dall'Empresa Nacional «Adaro» nella regione della Vizcaya. Essi hanno permesso di riconoscere nella successione stratigrafica vari livelli con caratteristiche proprie.

Dopo aver tracciato i lineamenti generali della regione vasco-cantabrica, vengono descritti i livelli riconosciuti, convenientemente illustrati da 70 fotomicrografie delle microfaccie. Particolare attenzione viene dedicata, tanto dal punto di vista genetico che da quello strutturale, ai calcari a *Toucasia*, che corrispondono all'orizzonte mineralizzato. Essi costituiscono un livello continuo, di spessore variabile, e non una serie di lenti irregolari, come è stato finora supposto. L'apparente lenticolarità dei calcari affioranti è invece dovuta alla presenza di un grandissimo numero di faglie che interessano tutta la zona e che ne provocano la frammentarietà. Gli studi micropaleontologici hanno permesso di riconoscere le formazioni sovrastanti e sottostanti i calcari mineralizzati, potendosi quindi delimitare sul terreno i settori che presentano un interesse per la ricerca delle masse calcaree occulte. Alcuni pozzi eseguiti posteriormente hanno confermato le ipotesi enunciate.

## INTRODUCCIÓN

En 1962, la Empresa Nacional «Adaro» de Investigaciones Mineras, Sociedad Anónima, emprendió el estudio geológico y minero de los criaderos de hierro de Vizcaya.

Las primeras excursiones de campo confirmaron nuestra opinión de que, para dar un paso adelante en el conocimiento de la geología de la región, y ampliar los resultados obtenidos por los investigadores que nos habían precedido, era necesario el empleo sistemático de los métodos más modernos de que actualmente dispone la Geología. Nos referimos concretamente a la Micropaleontología, cuya aplicación, limitada años atrás casi exclusivamente a la investigación petrolífera, se ha adoptado de modo definitivo en cualquier tipo de investigación geológica. Los resultados positivos obtenidos por los estudios micropaleontológicos efectuados a lo largo de unos cortes estratigráficos a finales de 1962, determinaron la programación de un plan de trabajo para el levantamiento geológico de la Hoja de Bilbao a escala 1:25.000, que comenzó en 1963. Se previó un trabajo de equipo (otro carácter fundamental de la geología moderna), de modo que cuanto se expone a continuación es el resultado de la colaboración de los ingenieros que trabajaron en el campo y en los laboratorios. Tanto en el campo como en la elaboración de los datos de Gabinete, se utilizó la foto aérea y además se adquirieron estudios geofísicos y fotogeológicos, lechos con otros fines por empresas particulares.

Los resultados de la investigación, a cuyo frente hemos estado el que suscribe y el Ingeniero de Minas don Antonio Ortiz y Ramos, se publicarán próximamente en su integridad por la Empresa Nacional «Adaro» con el título:

lo: *Investigación de hierros de Vizcaya. Tomo I. Estudio geológico y documentación minera*. Dicho trabajo comprenderá el mapa geológico de la Hoja de Bilbao y de una parte de las Hojas contiguas de Valmaseda y de Guecho, a escala 1:25.000, un mapa estructural a la misma escala, la explicación estratigráfica y tectónica, descripción de los criaderos, estudios geofísicos, petrográficos y micropaleontológicos.

Por el interés que en el trabajo mencionado han tenido los estudios micropaleontológicos, hemos creído conveniente presentar en estas Jornadas Minero-Metalúrgicas la presente comunicación sobre la contribución de la Micropaleontología al conocimiento de los yacimientos de hierro de Bilbao.

Los terrenos que nos interesan están formados en su mayoría por rocas duras, y por tanto, se ha recurrido frecuentemente a la confección de láminas transparentes, utilizando el método de estudio por *microfaccie*. Este método, aplicado sistemáticamente por primera vez en Aquitania por el profesor J. Cuvillier, de la Sorbona, consiste en el estudio de todos los elementos orgánicos e inorgánicos, que forman una roca, a escala microscópica. En las láminas adjuntas ofrecemos un panorama de fotomicrografías de diferentes microfaccie de las distintas formaciones de Vizcaya, del Permiano al Eoceno.

Damos primero unas cuantas notas generales sobre la geología del país vasco-cantábrico, cuyos datos están tomados en parte de la literatura y en parte son el resultado de estudios originales nuestros, de superficie y de sondeos, y particularizamos después los puntos que nos interesan de la región bilbaína.

## GEOLOGÍA DE LA REGIÓN VASCO-CANTÁBRICA

La región vasco-cantábrica está situada entre dos conjuntos de núcleo hercínico:

Los macizos primarios de Asturias, al Oeste y las estribaciones de los Pirineos con el macizo primario de Cinco Villas, al Este. En el centro, separando ambos, están los montes vasco-cantábricos con predominio casi absoluto del Cretáceo.

Durante la orogénesis alpina estos conjuntos han reaccionado de manera distinta. Tanto en la parte W, como en la E, las direcciones preferentes son la E-W, pero la vergencia es hacia el Sur en el macizo asturiano y hacia el Norte en la parte pirenaica. La parte central tiene dirección ESE-WNW, de modo que se acopla oblicuamente a las dos marginales. Además, presenta vergencia NE, a veces tan marcada que se llegan a producir escamas tectónicas y cabalgamientos.

Los macizos paleozoicos son testigo de la intensidad del plegamiento hercínico y encima yacen en discordancia los sedimentos permianos y mesozoicos, que vamos a describir brevemente, empezando por la serie Permo-triásica.

ESQUEMA GEOLOGICO DE LA REGION VASCO - CANTABRICA

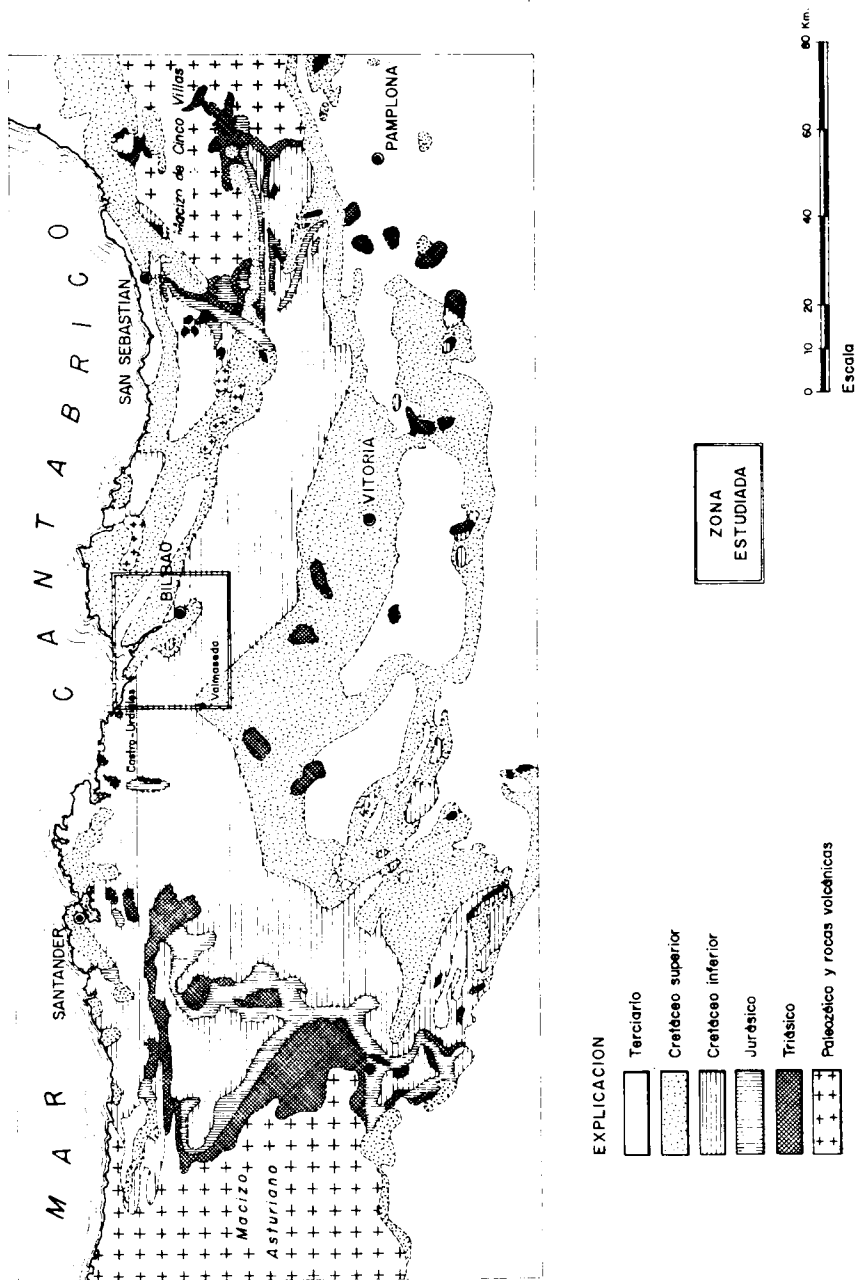


Fig. 1

Permo-triásico

Es muy difícil separar el Permiano de los terrenos contiguos, ya que a veces está íntimamente relacionado con el Triásico. Por este motivo muchos geólogos tienen la costumbre de unir el Permiano al Triásico bajo la denominación de Permo-triásico.

Donde la serie es más completa, el Permiano presenta en la base niveles de conglomerados calcáreos (gonfolita) y a continuación, pizarras de tonos pardos, parecidas a las del Carbonífero, con intercalaciones de pudingas silíceas. Hacia arriba se observan con más frecuencia lechos de pizarrillas rojas y verdosas, y margas y arcillas predominantemente rojas que se confunden con las triásicas. Por eso es prácticamente imposible establecer una separación neta entre el Permiano y el Triásico, a no ser por la presencia, en el primero, de restos vegetales, entre ellos *Walchia piniformis* Schl. Sin embargo, en Asturias, existen episodios marinos, y en los testigos del sondeo de Beranes hemos podido averiguar la presencia de Moluscos, Equinodermos y Briozoos en un microconglomerado poligénico (lám. 1, fig. 1).

Triásico

El Trias vasco-cantábrico se presenta en facies germánica, con sus tres clásicos tramos: Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper. Los depósitos son muy uniformes, de tipo paracontinental, debido a la escasa profundidad de la cuenca, y la aportación sedimentaria tiene un carácter fundamentalmente terrígeno. El Buntsandstein comprende brechas y areniscas, preferentemente de color rojo, «rodno» (lám. 1, fig. 2), y el Keuper arcillas abigarradas con sales y yeso. Las evaporitas que acompañan a las arcillas son indicador de clima árido y seco. Intercalaciones delgadas de calizas y dolomías revelan la presencia del Muschelkalk, pero esta transgresión marina no es constante, y muchas veces se encuentran las arcillas del Keuper directamente encima de las areniscas del Buntsandstein.

No siempre puede verse al Triásico en los bordes de los afloramientos paleozoicos, ya que la transgresión del Cretáceo medio ha sobrepasado frecuentemente la línea de costa de la sedimentación triásica, reposando directamente sobre el Paleozoico.

Las arcillas irisadas y las masas salíferas del Keuper, debido a su plasticidad, han ocasionado la formación de chimeneas perforantes, a veces muy espectaculares, como las de los diapiros de Villareayo, Villasana de Mena, Orduña y Murguía. En el Triásico superior son frecuentes las ofitas, rocas eruptivas de carácter básico, acompañando a las arcillas, y en los diapiros. En el sondeo de Matienzo, el Keuper está formado por arcillas verdes y rojas con

anhidrita, areniscas con partes rojas y otras blancas, y areniscas arcillosas rojizas (lám. 2, fig. 1).

### Jurásico

Al principio (*Rhettense*, *Hettangense*) las rocas, con frecuencia dolomíticas, recuerdan el medio de sedimentación triásico. Se encuentran también calizas margosas y arcillas gris-oscuro, estériles, con anhidrita (lám. 2, fig. 2).

Con el *Sinemuriense* empieza una verdadera deposición marina, con un aporte terrígeno muy fino, ya que los relieves continentales debían estar muy suavizados y por erosión no podían ser arrancados materiales gruesos y llevados al mar. Las rocas corresponden, en su mayoría, a calizas arcillosas oscuras con restos escasos de Moluscos, Equinodermos, Ostrácodos y Foraminíferos: Textuláridos, Ataxofrágmidos, Ammodiscus, Lagénidos (lám. 3, figura 1).

Durante el *Lias medio* predominan las calizas, a veces dolomíticas, muy fosilíferas. En el sondeo de Retuerta la sedimentación debía de corresponder a una zona litoral, de aguas agitadas, ya que encontramos (lám. 3, fig. 2) una esparita con cuarzo terrígeno, intraclastos y oolitos, acompañados por Moluscos, Equinodermos, Algas y Foraminíferos (Ataxofrágmidos).

En el *Lias superior*, la deposición se hace más profunda, con facies de calizas arcillosas negras, en las cuales encontramos Ammonites, Moluscos, Equinodermos, Ostrácodos y Foraminíferos abundantes: Textuláridos, Ataxofrágmidos, Dentalina, Lingulina, Rectoglandulina, Lenticulina, Nodosaria, etcétera (lám. 4, fig. 1).

Al principio del *Dogger* se acentúa el carácter profundo de los sedimentos, con una proliferación extraordinaria de organismos planctónicos. En el *Bajociense* tenemos calizas arcillosas con Ammonites repletas de filamentos (fragmentos de conchas de Moluscos pelágicos), Posidonia, Radiolarios, Stomiosphaera, zoósporas de Globochaete, Protoglobigerinas y otros Foraminíferos (lám. 4, fig. 2). En el actual sector costero, entre Santander y Castro Urdiales, debía de correr la zona próxima a la base del antiguo escarpe continental del Jurásico medio. Lo demuestra, pues, el sondeo de Matienzo, donde junto con fósiles pelágicos que se han depositado en una zona batial, encontramos intraclastos: es decir, fragmentos formados en un sector próximo de la costa, arrastrados del fondo antes de consolidarse y llevados a profundidades mayores (lám. 5, figs. 1 y 2). Según Phleger, fenómenos de este tipo ocurren sobre todo en la zona batial interna, o archibental, donde pueden acumularse restos neríticos transportados principalmente por corrientes de «turbidez».

El *Bathonense*, que corresponde a margas con *Cecoptychius*, *Perisphinctes* y *Macrocephalites*, refleja las mismas condiciones sedimentarias del Bajociense (lám. 6, fig. 1).

Las calizas arcillosas y margas del *Caloviense* contienen Ammonites de los géneros *Hecticoceras*, *Lythoceras*, *Perisphinctes*, *Phlycticeras*, *Oppelia* y *Lima*; Lamelibranquios, Equinodermos, filamentos y Foraminíferos (Textuláridos, Ataxofrágmidos, Lituólidos, Ophthalmídeos). Hacia el final se observa un levantamiento del fondo marino y la deposición es nerítica (lám. 6, figura 2), preludio de la regresión general del *Oxfordense*.

El *Kimmeridgiense* es prácticamente azoico, con areniscas cuarzosas blancas y margas chocolate. La deposición es decididamente continental, con episodios lacustres y salobres durante el *Purbeckiense*, formado por areniscas y margas de colores oscuros, carbonosas, a veces rojizas o verdosas, con restos vegetales y Ostrácodos, sobre todo *Dictyocythere retirugata* (F). Al final del Jurásico se observa un episodio marino de tipo litoral, que parece tener una extensión geográfica bastante amplia, ya que lo hemos identificado también en la Cordillera Ibérica (lám. 7).

### Cretáceo

Al principio del Cretáceo continúa, en toda la provincia vasco-cantábrica, la sedimentación de tipo parálico que empezó en el Jurásico superior. Hasta el Barremiense inclusive, se depositan varios centenares de metros de arcillas arenosas negras, rojas, verdes y amarillentas, y areniscas carbonosas. Las aguas tienen muy poco calado y variaciones pequeñas del ritmo de sedimentación o de la velocidad de subsidencia provocan episodios alternos de régimen marino, salobre y continental, con preponderancia de los dos últimos. El gran espesor de los depósitos, en un ambiente de aguas muy someras, demuestra la importancia de la subsidencia. Nos encontramos con la facies *Wealdense*, que caracteriza las cordilleras Cantábrica e Ibérica. Las microfauas de Ostrácodos contienen abundantes *Darwinula leguminella*, así como *Cypridea* del grupo *C. granulosa* (lám. 8). Cerca de la base del Cretáceo existe una indentación marina *Valanginiense*, de calizas brechoides y areniscas calcáreas fosilíferas, con Briozoos, Moluscos, Equinodermos, Algas, Esponjas, Anélidos y Foraminíferos (entre ellos Miliólidos, Lagénidos, Lituólidos, Trocholina, etc.). Se trata de un nivel de carácter litoral, que tiene un gran valor correlativo en toda la zona, ya que ha sido encontrado por nosotros en los sondeos de Matienzo (lám. 9), de Retuerta (lám. 10), y en superficie cerca de Bárcena. También Rat cita este horizonte en Ramales y en Castro de Valnera. Más arriba, dentro del *Wealdense* s. l., tenemos otro elemento de correlación, por lo menos en el sector entre Retuerta y Matienzo, forma-

(1) Ha clasificado los Ostrácodos la señorita Julia Barragán, Doctora en Ciencias Naturales, del Servicio de Estratigrafía de ADARÓ.



do por un nivel de margas arenosa con restos orgánicos de origen vegetal, ¿Algas?, de aspecto peculiar ( lám. 11, fig. 1).

A finales del Barremiense las orillas del mar avanzan sobre el continente y la sedimentación salobre-lacustre del Wealdense es reemplazada por una deposición marina. Cerca de la antigua costa continúa la aportación terrígena, con espesores notables de areniscas, escasamente fosilíferas. Pero a una cierta distancia, donde el material detrítico no llega a enturbiar las aguas, se depositan calizas que, como veremos más adelante, corresponden a una sedimentación mixta de bancos y de biostromas (anticlinal de Bilbao), aunque, a veces, adquieren el carácter de una bioherma (Ramales). Se trata, por lo tanto, de un sector donde el fondo marino es bastante elevado y sólo esporádicamente es alcanzado por los aportes terrígenos que alternan a veces con las calizas. En Arredondo, las calizas, extraordinariamente fosilíferas, nos permiten distinguir el Aptense inferior con *Orbitolinopsis simplex* ( lám. 11, fig. 2), el Aptense superior con *Coskinolinella*, *Orbitolina texana parva*, *Orbitolina texana texana* (2) y *Simplorbitolina manasi* ( láms. 12 y 13), y el Albense con Coralarios, Esponjarios y Orbitolinas ( láms. 14, fig. 1).

Más al Sur, en el sector de Retuerta, próximo a la antigua costa, domina la deposición detrítica y todo el tramo del Aptense y Albense, desde la aparición de las primeras Orbitolinas hasta el Cenomanense, está representado por areniscas y margas, en gran parte estériles, de unos 700 metros de espesor.

Las facies terrígenas de las regiones del Sudoeste se extienden hacia el Nordeste, empezando por el Albense superior, debido a movimientos tectónicos, que originan discordancias locales (Rat, 1959).

Entre Ramales y Espinosa de los Monteros, los sedimentos del Albense superior al Cenomanense medio, de facies flysch, alcanzan una potencia de 2.000 metros (Karrenberg, 1934), que atestiguaría la existencia de una fosa de subsidencia muy rápida, de carácter geosinclinal.

La gran transgresión *cenomanense* lleva las orillas del mar hacia el interior, hacia Castilla. Alcanza su plenitud en el *Cenomanense superior* ( lám. 14, figura 2). En Vizcaya y Guipúzcoa se depositan margas grises flyschoides de Globotruncanas y bancos más detríticos de Praealveolinas. Al sudoeste de la zona anticlinal de Bilbao se deposita, en un largo trayecto, el «flysch de bolas», de margas y areniscas de poco espesor, con Globotruncanas y Equínidos.

Hacia el fin del Cenomanense hay una fase eruptiva andesítica y basáltica de la que quedan testigos en la parte nordeste del sinclinorio vizcaíno.

El *Turonense* se encuentra en el sector de Santander ( lám. 15) y en la zona sudoeste del anticlinal de Bilbao, mientras que al N., en Vizcaya y Guí-

(2) Damos las gracias al Dr. R. Schroeder por la amable clasificación de algunas Orbitolinas.

púzcoa, está muy mal definido por margas y calizas arcillosas de poco espesor.

En Vizcaya y O. de Guipúzcoa hay una serie potente de flysch margo-arenoso que representa la parte superior del Cretáceo ( lám. 16). El paso al Paleoceno es gradual y el flysch, con sus alternancias de capas duras y blandas, presenta un aspecto espectacular a lo largo de la costa, donde el oleaje, erosionando una parte de las capas más blandas, ha puesto en evidencia su estructura estratificada.

### Terciario

En el sector de Villarcayo-Miranda de Ebro, el *Maestrichtiense* tiene carácter regresivo y a continuación una parte de la región queda emergida, con la deposición de las margas abigarradas lagunares del Garumnense. Las aguas marinas vuelven en el *Paleoceno* ( lám. 17, fig. 1) y se estabilizan durante el *Luteciense*, tanto en las costas de Guipúzcoa y Vizcaya ( lám. 17, fig. 2) como en el interior, donde vuelven a retirarse a finales del Eoceno, para dejar paso a la deposición continental oligocena de Alava y Navarra.

MICROFACIES  
DE LA REGION VASCO - CANTABRICA

(Permiano - Eoceno)  
Láminas I - XVII

## LÁMINA I

## 1 PERMIANO.

*Asturias.*

Sondeo de Beranes 1. 501,90-511,30 metros. Microconglomerado poligénico con Lamelibranchios, Equinodermos y Briozoos ( $\times 13$ ).

INSTITUTO GEOGRÁFICO Y GEOGRÁFICO  
 DE ESPAÑA - MADRID  
 1927 - 1928  
 1927 - 1928

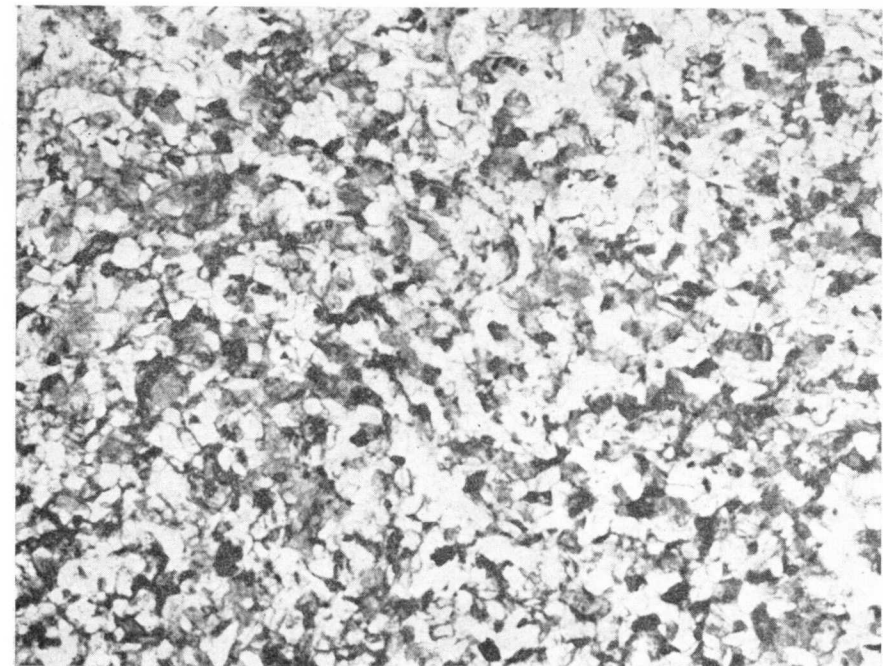
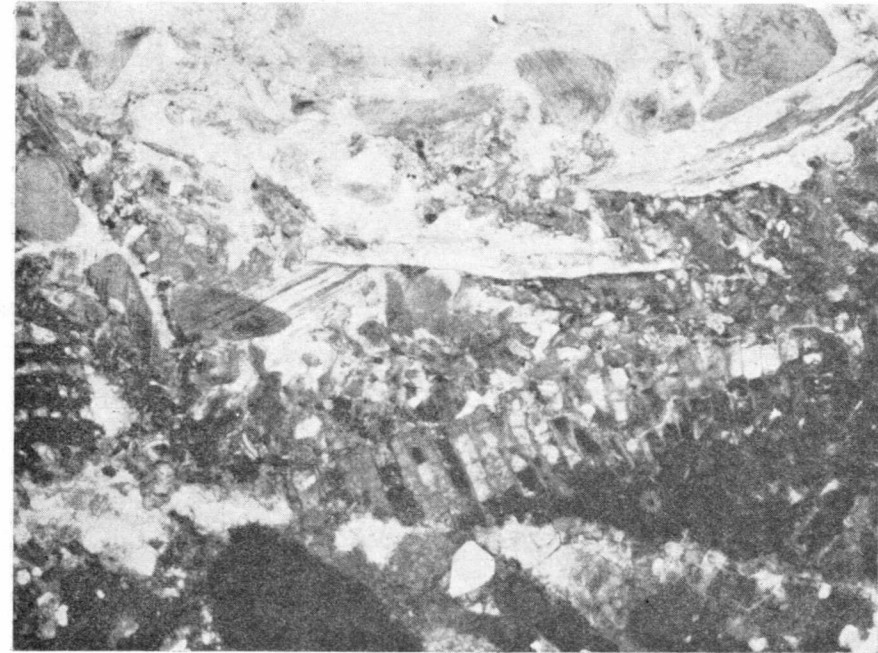
## 2. BUNTSANDSTEIN.

*Sondeo de Matienzo.*

## Testigo 23-B.

Arenisca margosa rojiza con cristales de cuarzo poco rodado ( $\times 19$ ).

## LÁMINA I



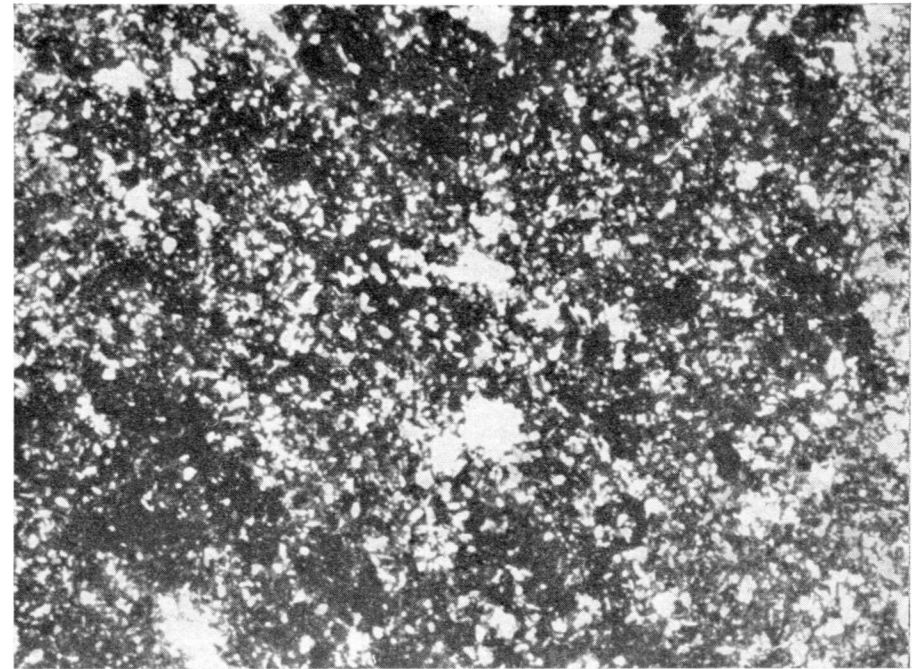
## LÁMINA II

## 1. KEUPER.

*Sondeo de Matienzo.*

Testigo 18-B.

Arcilla roja detritica con abundantes granos muy finos de cuarzo, feldespatos y pajuelas de mica ( $\times 24$ ).

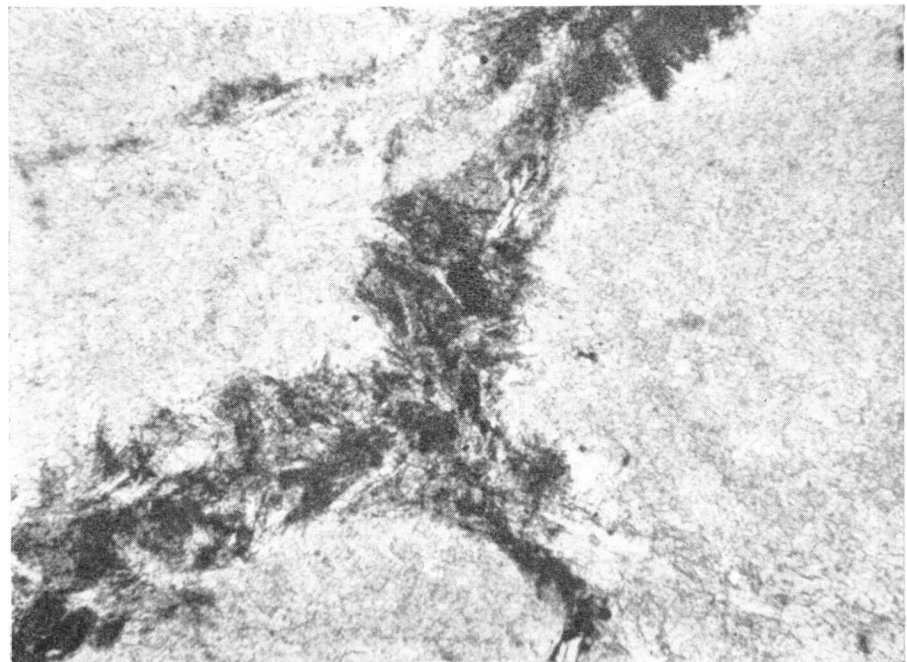


## 2. INFRALÍAS.

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 67-A.

Anhidrita con manchas irregulares de arcilla ( $\times 39$ ).



## LÁMINA III

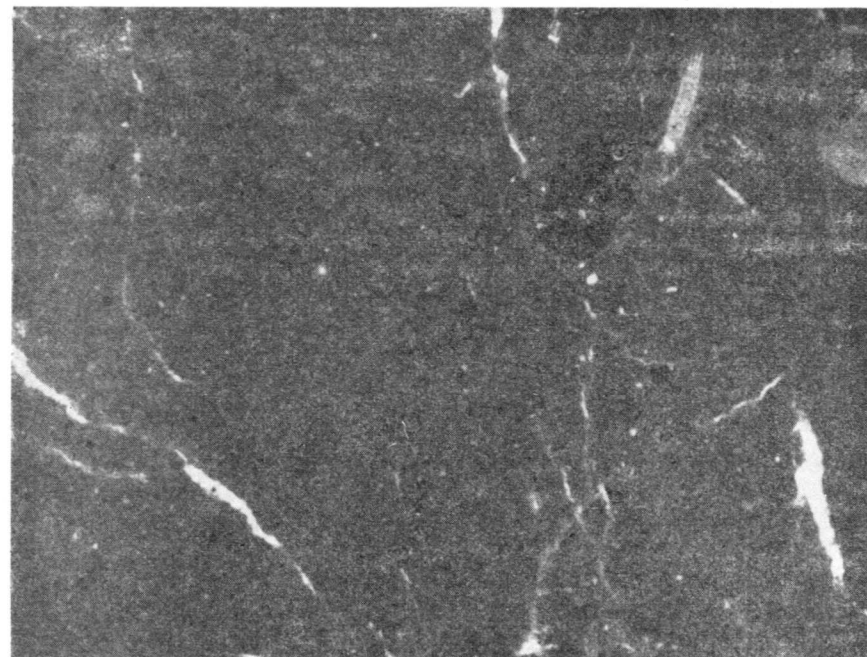
## 1. SINEMURIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 66-B.

Micrita y microsparita con vetillas de calcita y con restos fósiles escasos; entre ellos Ostrácodos y Equínidos ( $\times 17$ ).

## LÁMINA III

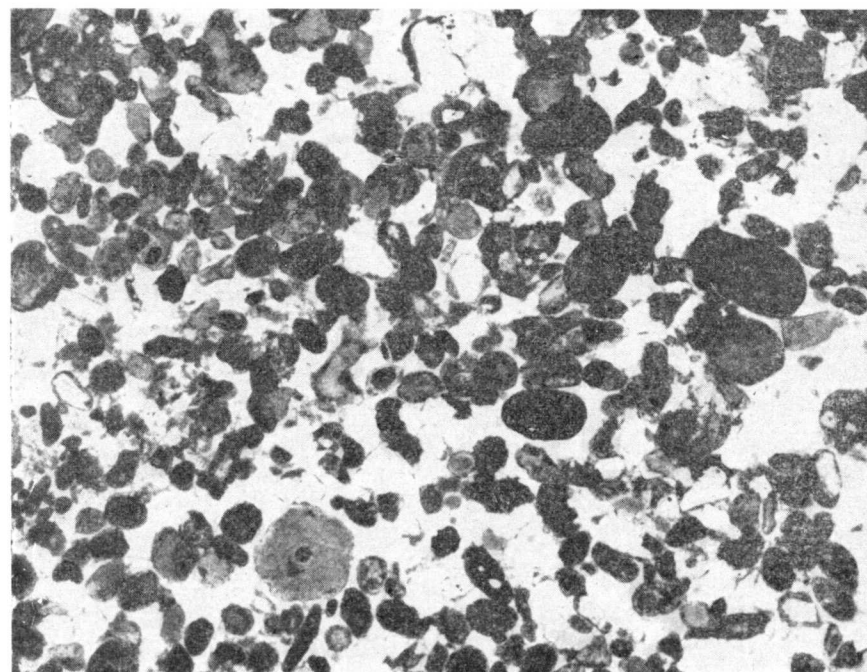


## 2. PLIENSBAJIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 65-D.

Intrasparita con abundante cuarzo rodado y oolitos, en parte bien formados. Equinodermos, Moluscos, Algas, Ataxophrágmidos ( $\times 18$ ).

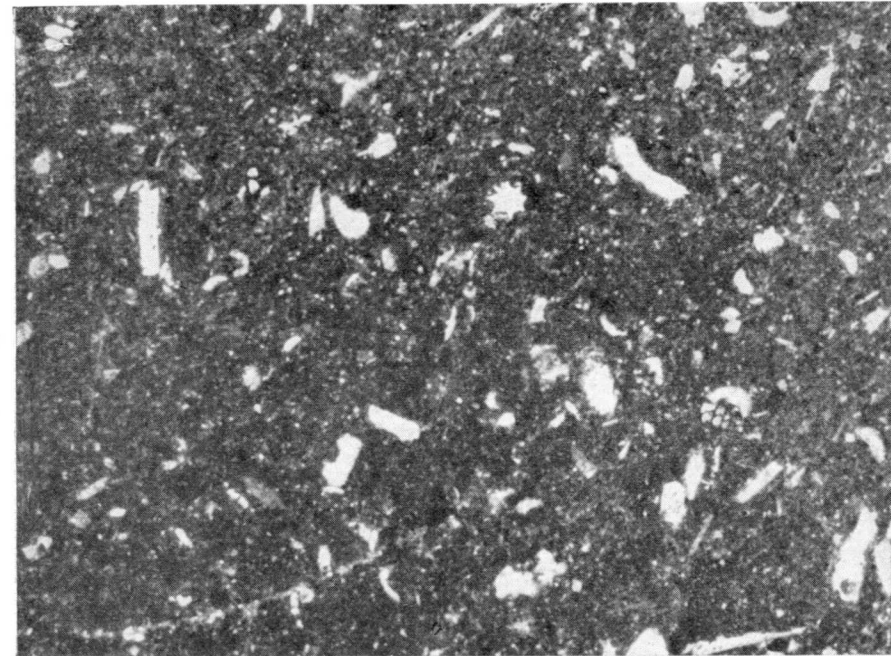


## LÁMINA IV

## 1. LÍAS SUPERIOR.

*Sondeo de Retuerta.*

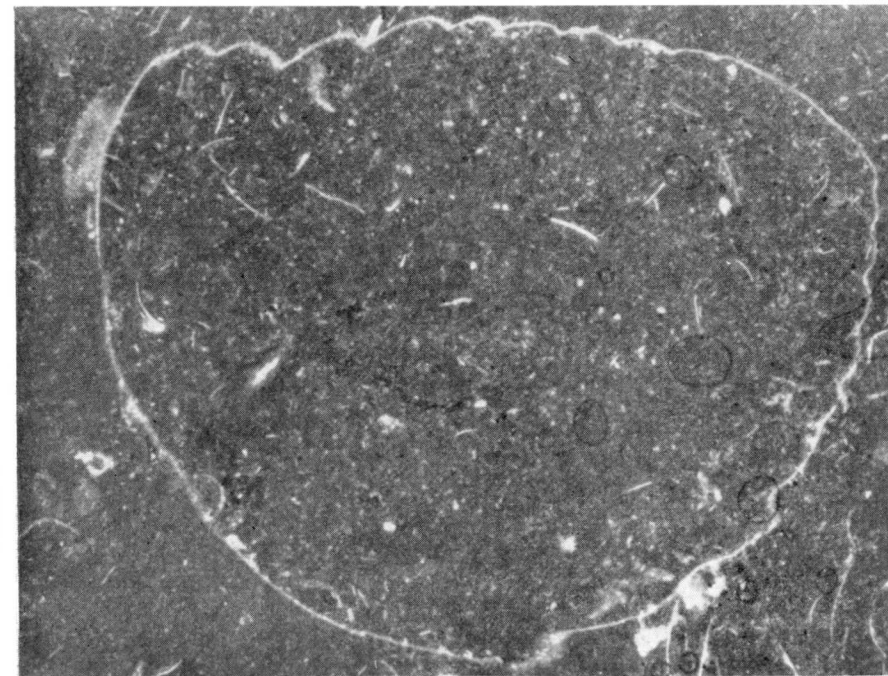
Testigo 63-A.

Bio-microsparita negra, detritica, con Equinodermos y Foraminíferos (*Lingulina*, Lagénidos, Textuláridos, etc.) (× 21).

## 2. BAJOCIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 60-C.

Micrita finamente detritica con filamentos (una sección de *Posidonia*), Proto Globigerinas, Foraminíferos pequeños, Radiolarios, Equinodermos (× 12).



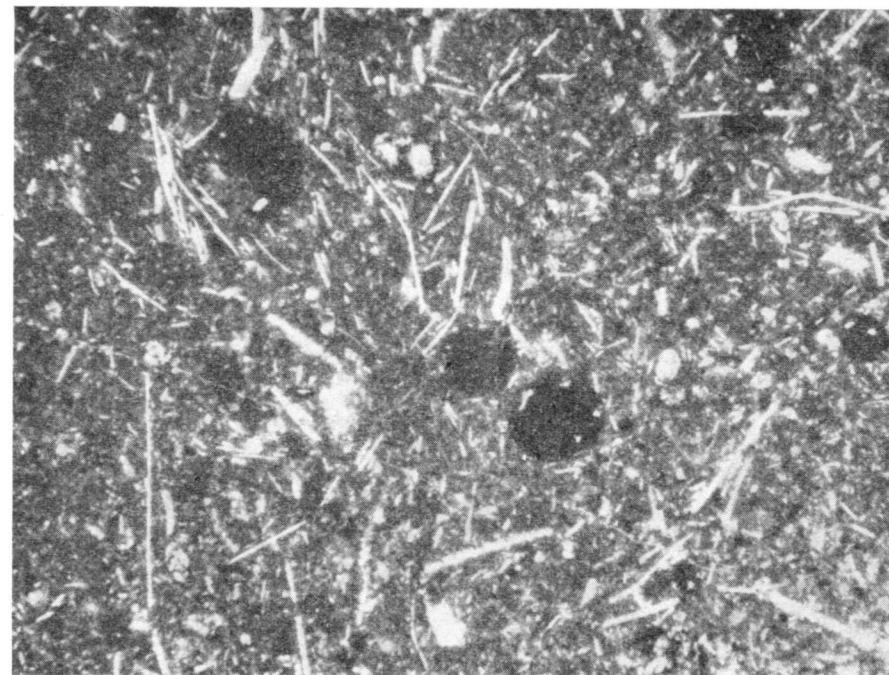
## LÁMINA V

## 1. BAJOCIENSE.

*Sondeo de Matienzo.*

Testigo 11-C.

Intramicrita repleta de filamentos y con zoosporas de *Globochaete*, *Stomiosphaera*, escasos Radiolarios y Foraminíferos pequeños ( $\times 44$ ).

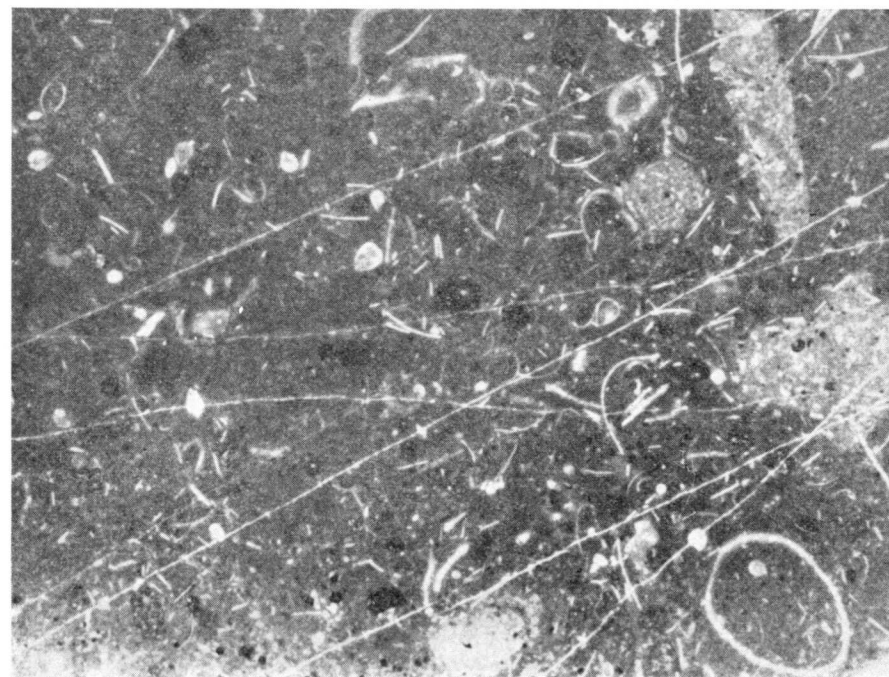


## 2. BAJOCIENSE.

*Sondeo de Matienzo.*

Intramicrita con vetas finas de calcita. Los intraclastos contienen cristales menudos de cuarzo detrítico, Moluscos pelágicos, Ammonites, Bivalvos pequeños, Proto-Globigerinas, Foraminíferos y Radiolarios ( $\times 19$ ).

Los conjuntos de las dos fotomicrografías, indican un ambiente de sedimentación batial, con abundantes restos pelágicos, y con aportación de elementos formados cerca de la costa (intraclastos y algunos fósiles) por medio de corrientes submarinas o de «turbidez». La zona de sedimentación corresponde, probablemente, a la base del antiguo talud continental.



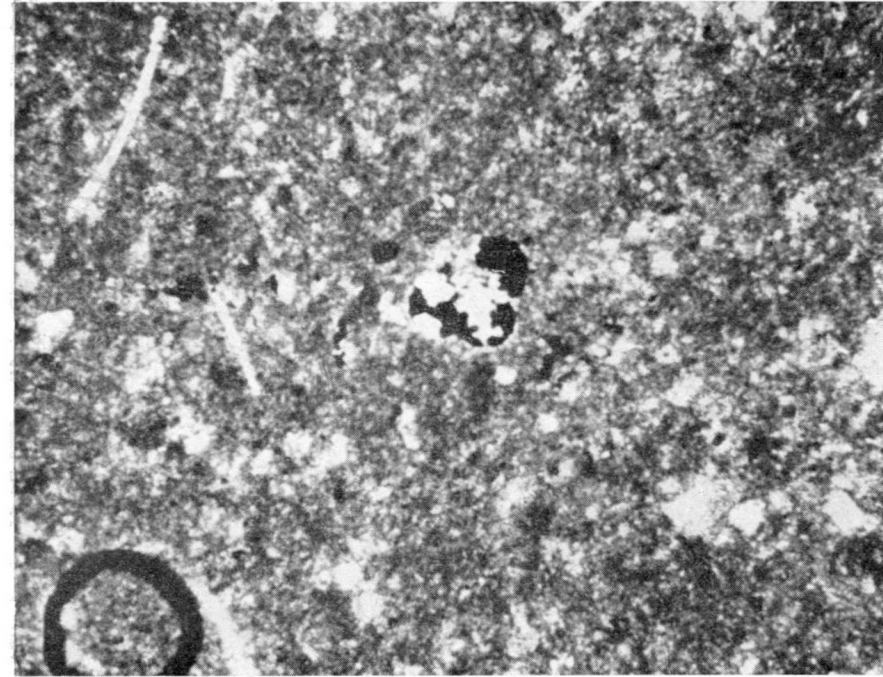
## LÁMINA VI

## 1. BATHONIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

## Testigo 58-A.

Caliza de Ammonites. Al microscopio, el aspecto es de una microsparita con filamentos, Equinodermos, Espículas, Stomiosphaeras y *Lenticulina*. En el centro, una sección de Proto-Globigerina ( $\times 136$ ).



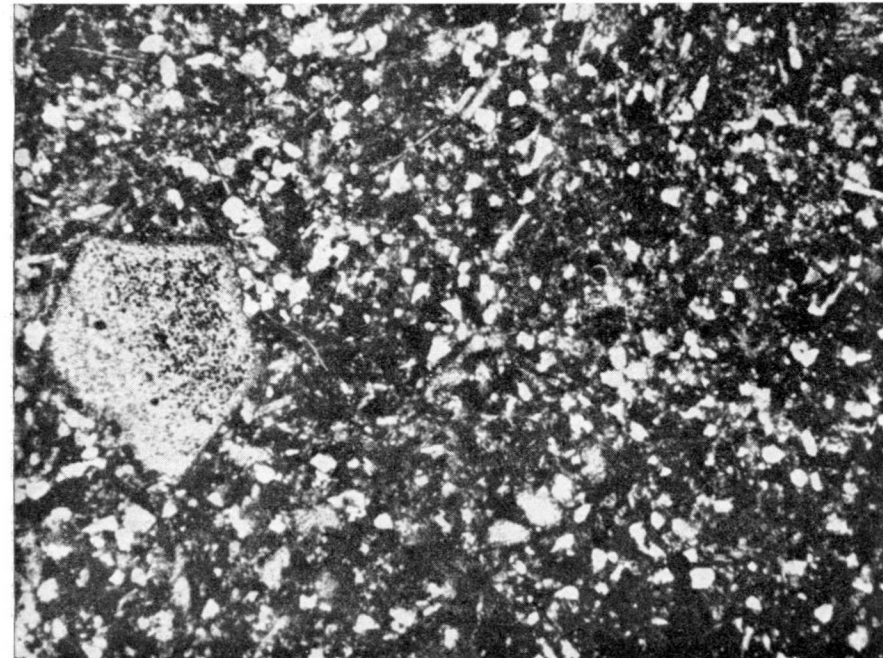
## 2. CALOVIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

## Testigo 54-A.

Caliza arcillosa detrítica con abundante cuarzo anguloso de grano muy fino, pirita y restos carbonosos, Equinodermos, filamentos, Foraminíferos pequeños ( $\times 44$ ).

Observamos aquí un indicio de la regresión general que ocurrirá en el Oxfordiense.





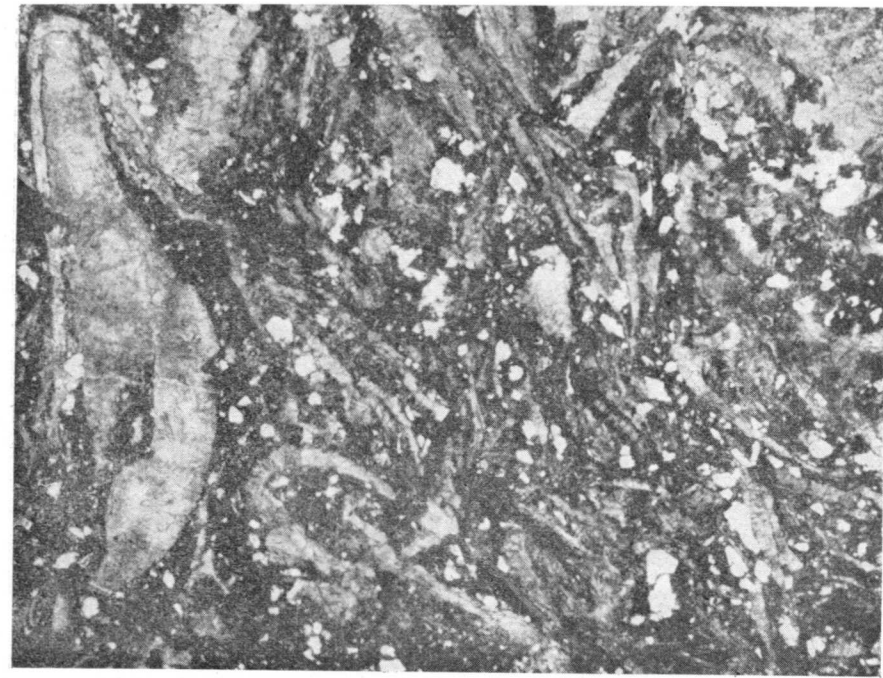
## LÁMINA VII

## 1. PURBECKIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 39-B.

Marga arenosa oscura con granos finos y angulosos de cuarzo, y con pirita, llena de fragmentos de Equinodermos y de Crustáceos (?) (× 18).

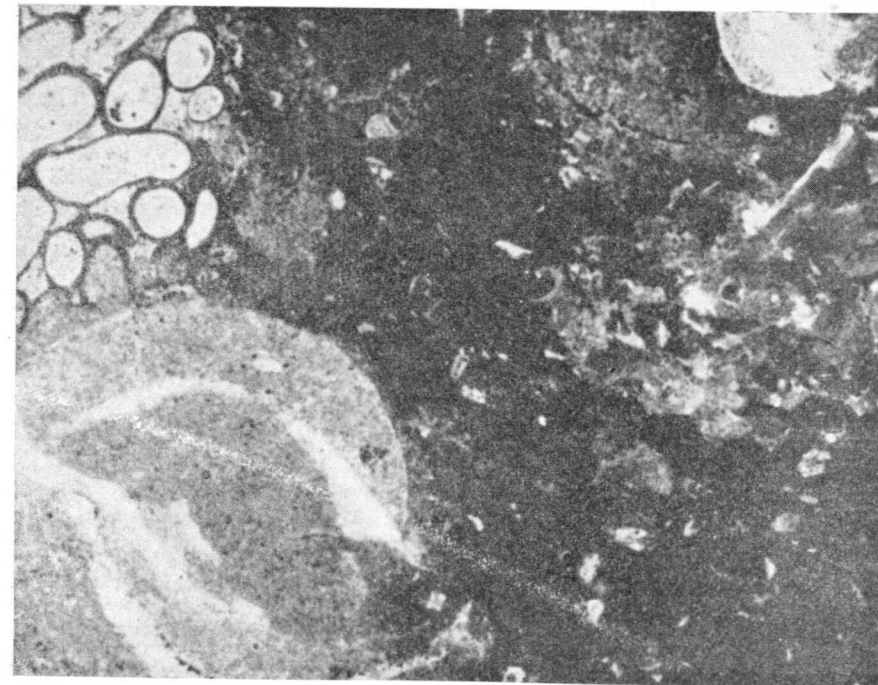


## 2. PURBECKIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 37-B.

Bio-microsparita detrítica, negra, con Anélidos, Equinodermos, Ostrácodos, restos vegetales y algún pequeño Foraminífero (× 18).



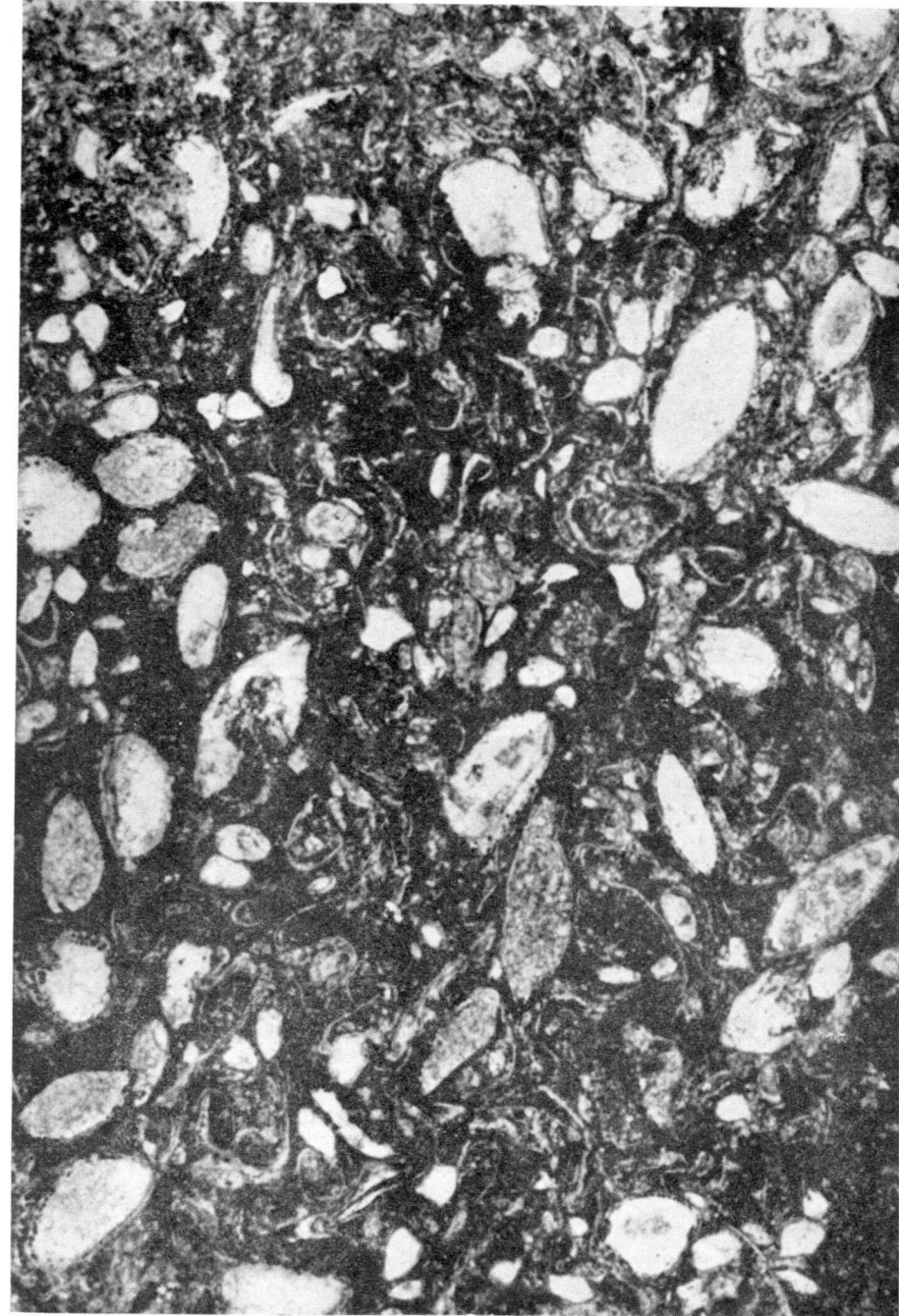
## LÁMINA VIII

CRETÁCEO BASAL,  
(facies Wealdense).

Sondeo de Retuerta.  
Testigo 32-A.

Marga finamente arenosa, apizarrada, repleta de Ostrácodos. (*Darwinula leguminella* y *Cypridea granulosa*.) (× 35,7).

## LÁMINA VIII



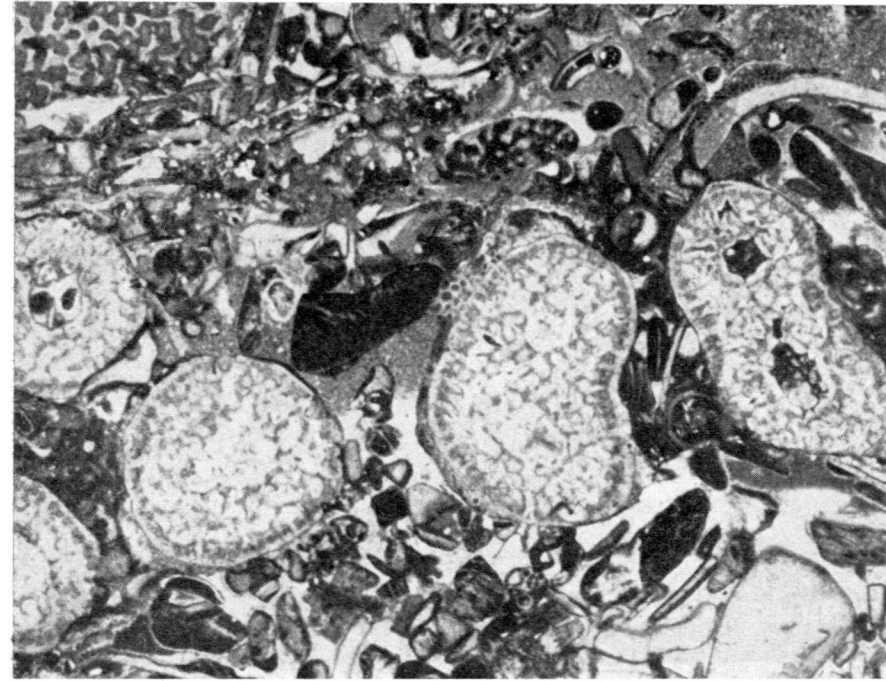
## LÁMINA IX

## 1. VALANGINIENSE.

*Sondeo de Matienzo.*

Testigo 9-E.

Biosparita, con cemento parcialmente microsparítico. Esponjas Pharetrones, Briozoos, esquirlas de Lamelibranquios y Equinodermos ( $\times 10$ ).

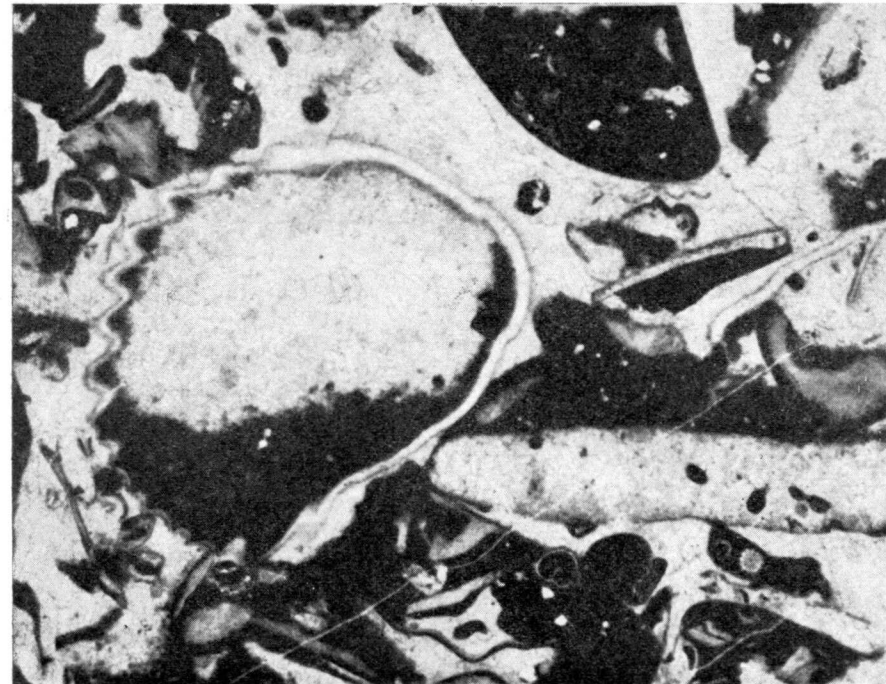


## 2. VALANGINIENSE.

*Sondeo de Matienzo.*

Caliza bioclástica con pequeñas Rhyconellas, esquirlas de Moluscos, Gasterópodos muy pequeños, fragmentos de Briozoos, Equinodermos, radiolas de Equinidos ( $\times 12,6$ ).

La roca es una originaria biomicrota, en gran parte recristalizada. Puede observarse muy bien la recristalización parcial de la micrita en el interior de la *Rhyconella*.

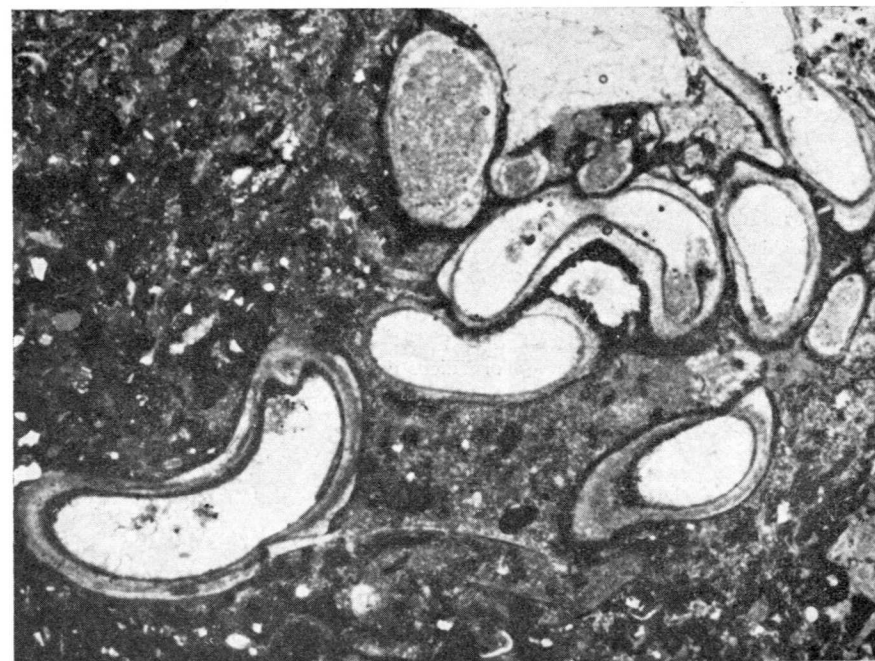


## LÁMINA X

## 1. VALANGINIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

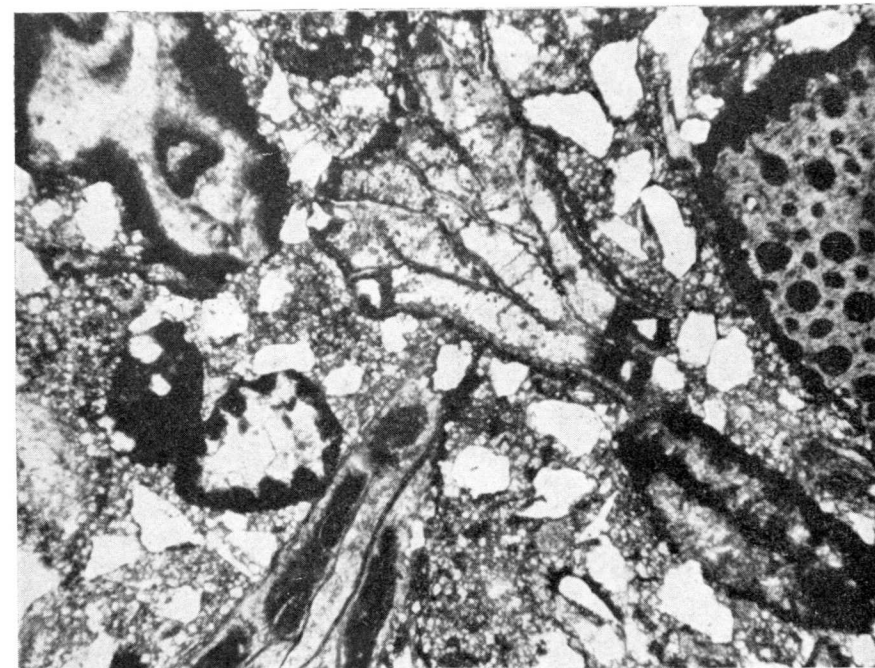
Testigo 28-M.

Bio-microsparita detrítica, con Anélidos ( $\times 19$ ).

## 2. VALANGINIENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 27-B.

Bio-microsparita con cuarzo terrígeno anguloso. Detalle de *Trocholina*, acompañada por fragmentos de Briozoos y Equinodermos ( $\times 39$ ).



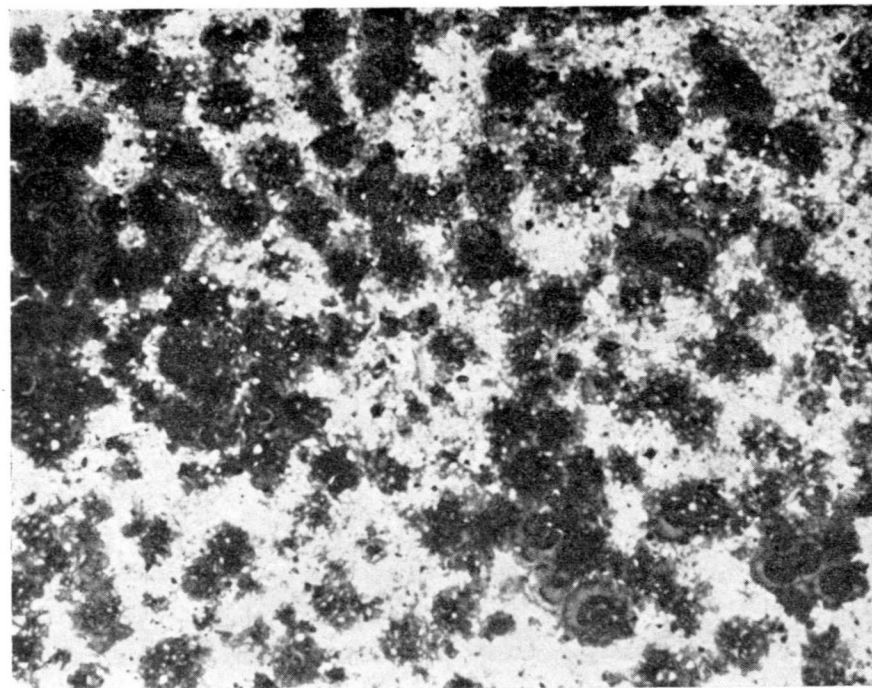
## LÁMINA XI

1. CRETÁCEO INFERIOR.  
(facies Wealdense).

*Sondeo de Matienzo.*

Testigo 5.

Marga arenosa con pequeños restos orgánicos vegetales ( $\times 19$ ).



2. BEDOULIENSE.

*Zona de Arredondo.*

Muestra 21.

Micrita y microsparita con *Orbitolinopsis simplex* (Henson) ( $\times 20$ ).

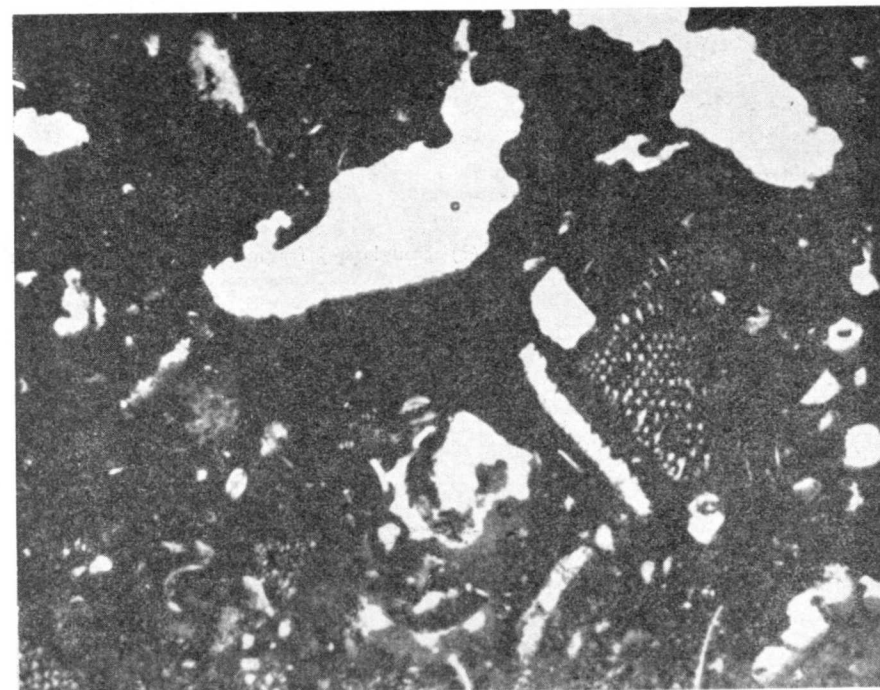


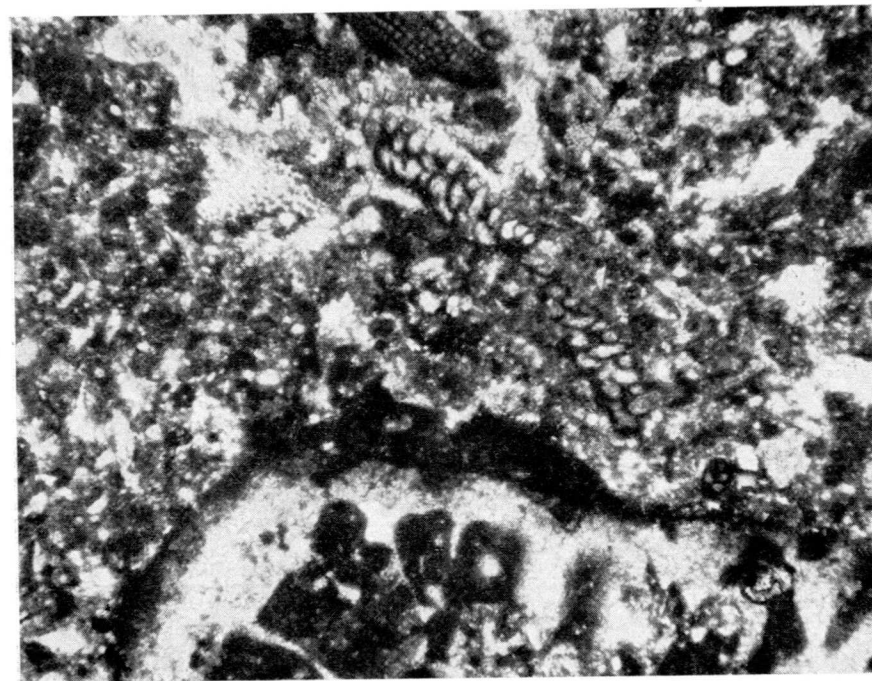
LÁMINA XII

## LÁMINA XII

## 1. GARGASIENSE.

*Zona de Arredondo.*

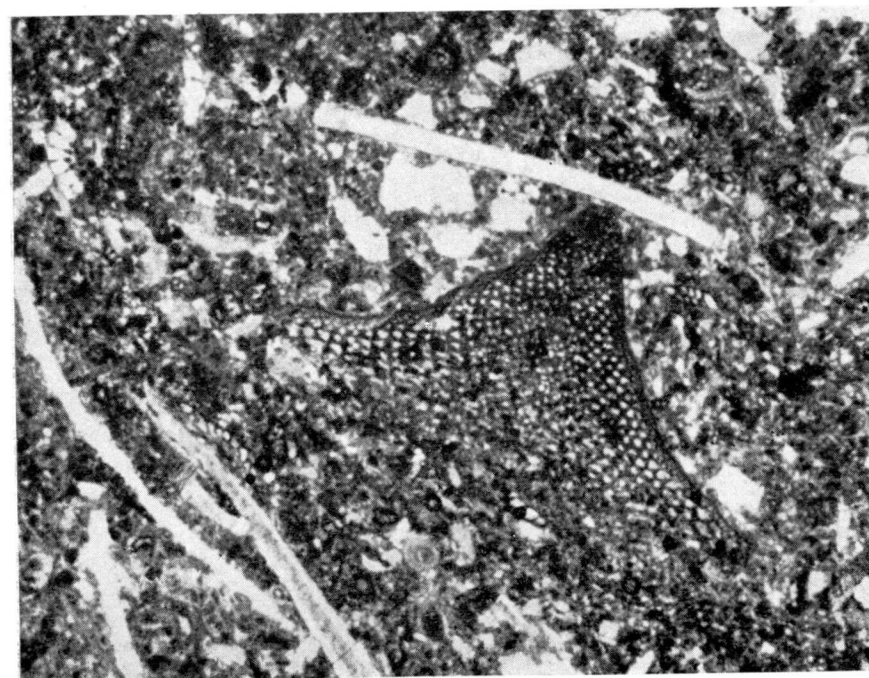
Muestra 32.

Bio-microsparita con Coralarios, *Coskinolinella* y *Cuneolina* ( $\times 43$ ).

## 2. GARGASIENSE.

*Zona de Arredondo.*

Muestra 32.

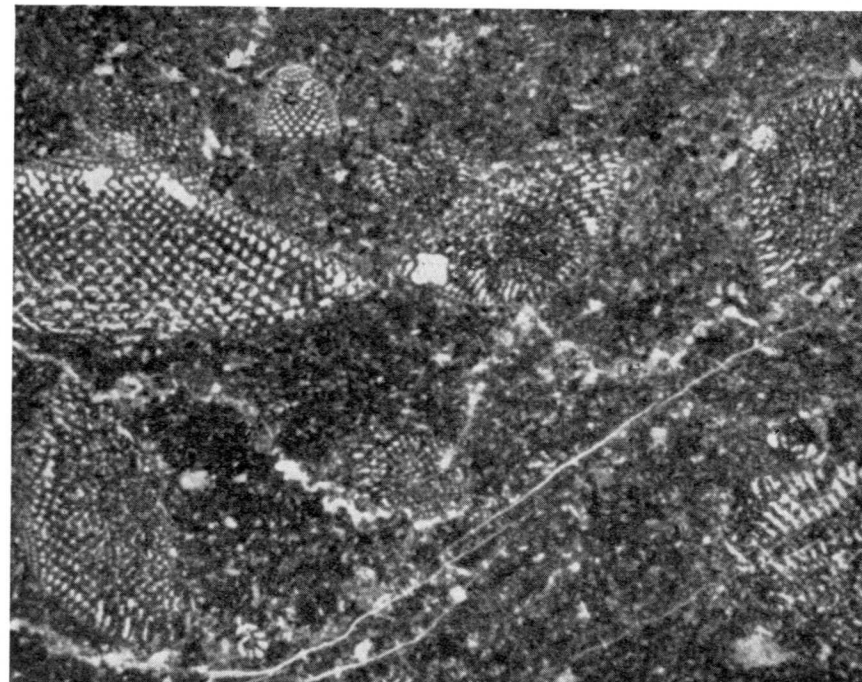
Id., id., con *Orbitolina texana parva* (?) Douglass y fragmentos de Lamelibranquios ( $\times 19$ ).

## LÁMINA XIII

## 1. GARGASIENSE.

Zona de Arredondo.  
Muestra 36.

Bio-microsparita finamente arenosa con *Orbitolina texana-texana* (Roemer) y *Simplorbitolina manasi* Ciry y Rat ( $\times 19$ ).



## 2. GARGASIENSE.

Zona de Arredondo.  
Muestra 36.

Detalle con *Simplorbitolina manasi* Ciry y Rat ( $\times 43$ ).

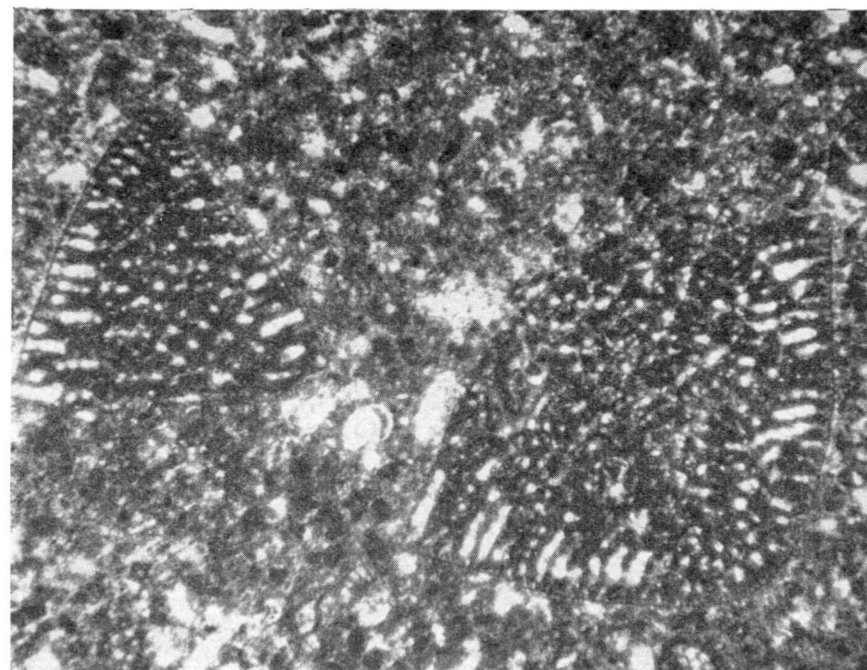


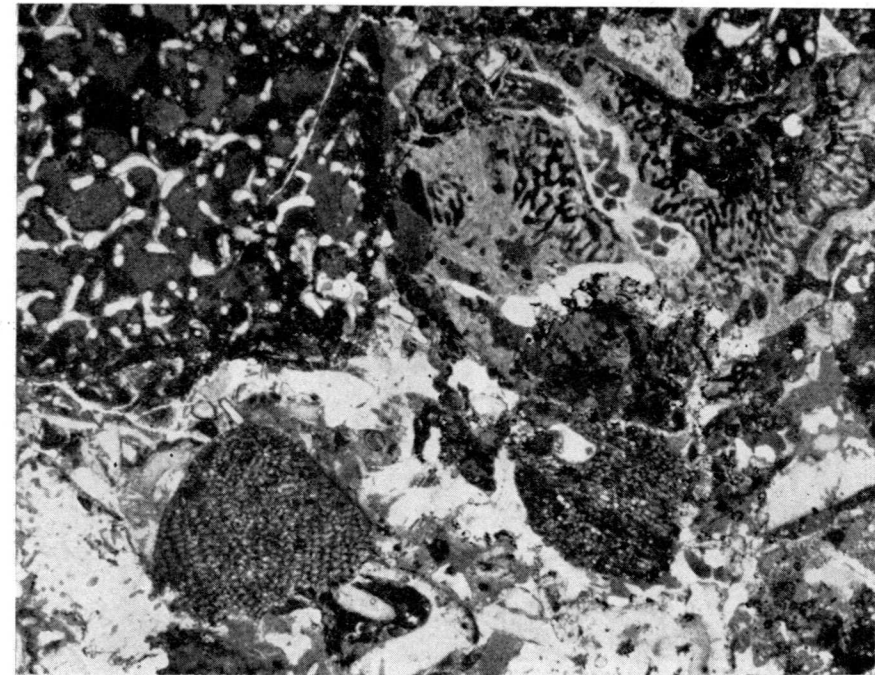
LÁMINA XIV

## LÁMINA XIV

## 1. ALBENSE.

*Zona de Arredondo.*

Muestra 3S.

Biomicrocristal, parcialmente recristalizada, con Coralarios, Esponjarios y Orbitolinas ( $\times 12$ ).

## 2. CENOMANENSE SUPERIOR.

*Zona de Santander.*

Muestra 10-S.

Biosparita con Orbitolinas, Gasterópodos y Equinodermos. Casi todos los elementos están rodeados por una película ferruginosa ( $\times 40$ ).

En la fotomicrografía se puede apreciar que el barro microcristalino originario (micrita), ha sido sustituido, en parte, por la sparita.

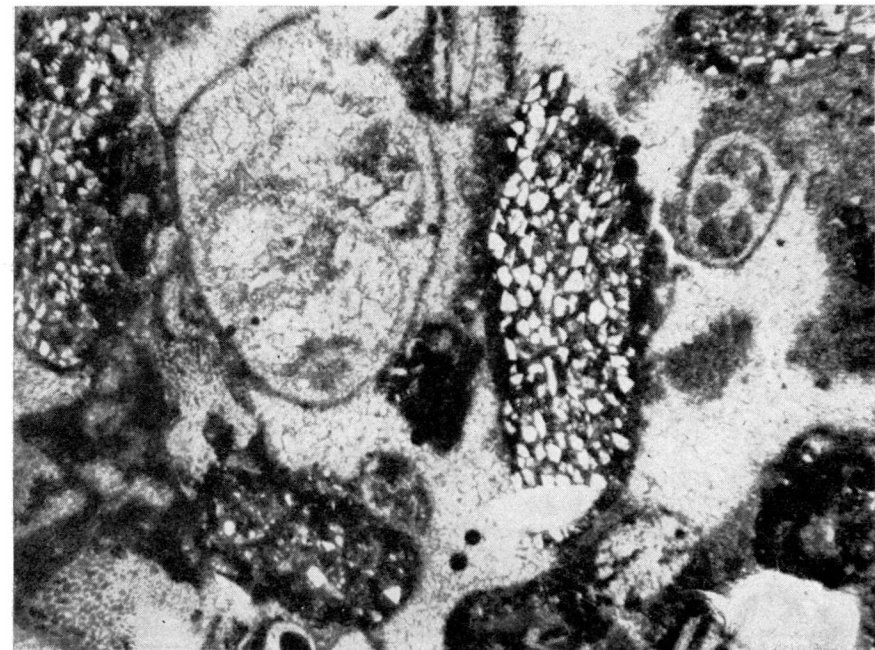


LÁMINA XIV



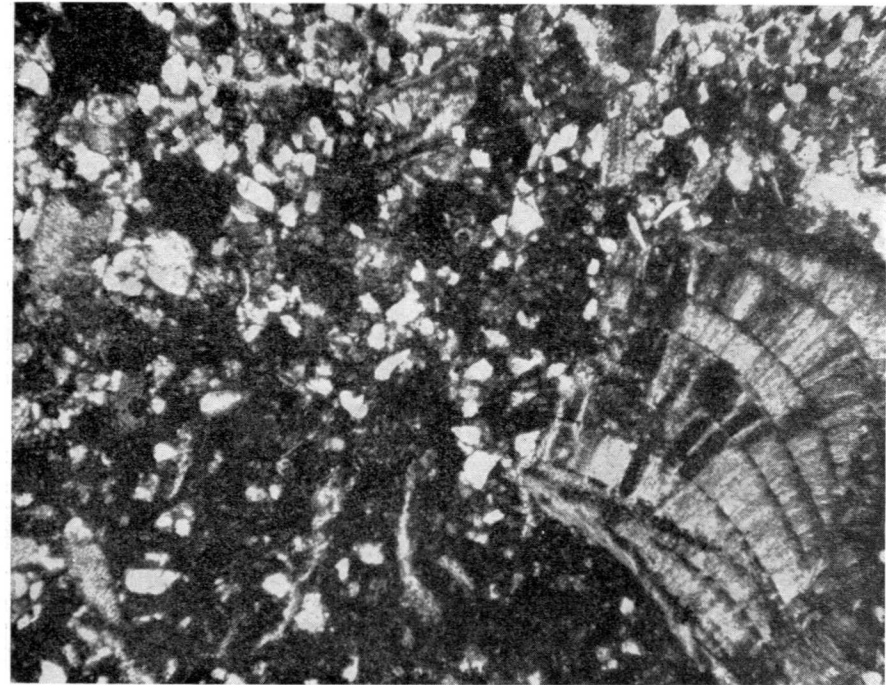
## LÁMINA XV

## 1. TURONENSE.

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 3-A.

Caliza arenosa, glauconiosa, con Rudistos, *Pithonella*, pequeños Textuláridos y Ataxo-  
phrágmidos ( $\times 39$ ).

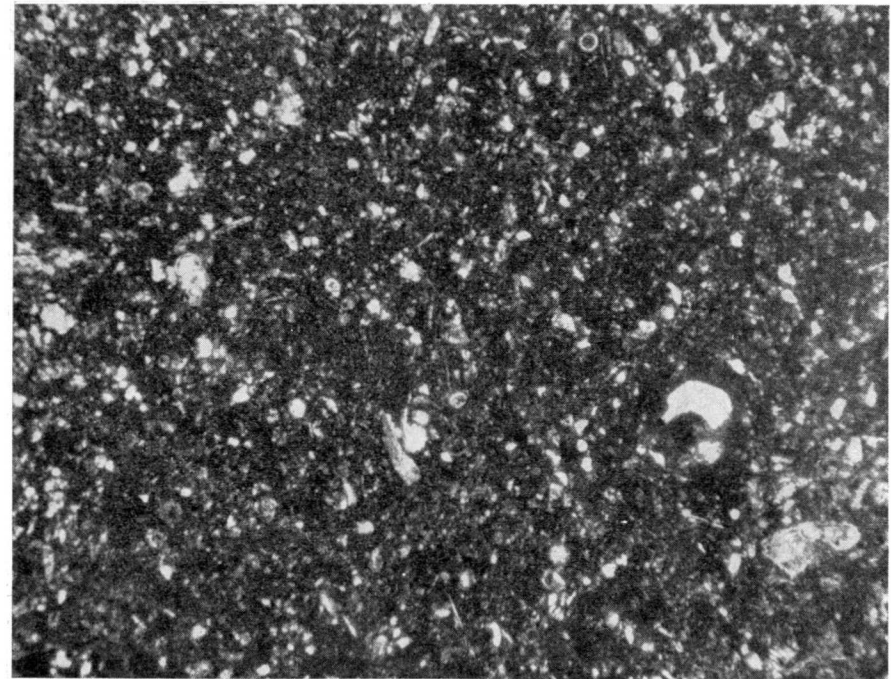


## 2. TURONENSE (¿CONIACIENSE?).

*Sondeo de Retuerta.*

Testigo 2-A.

Caliza arcilloso-arenosa, micácea, con *Pithonella*, *Heterohelix*, *Hedbergella*, *Globotruncana* cf. *imbricata* Mornod, Lituólidos ( $\times 39$ ).

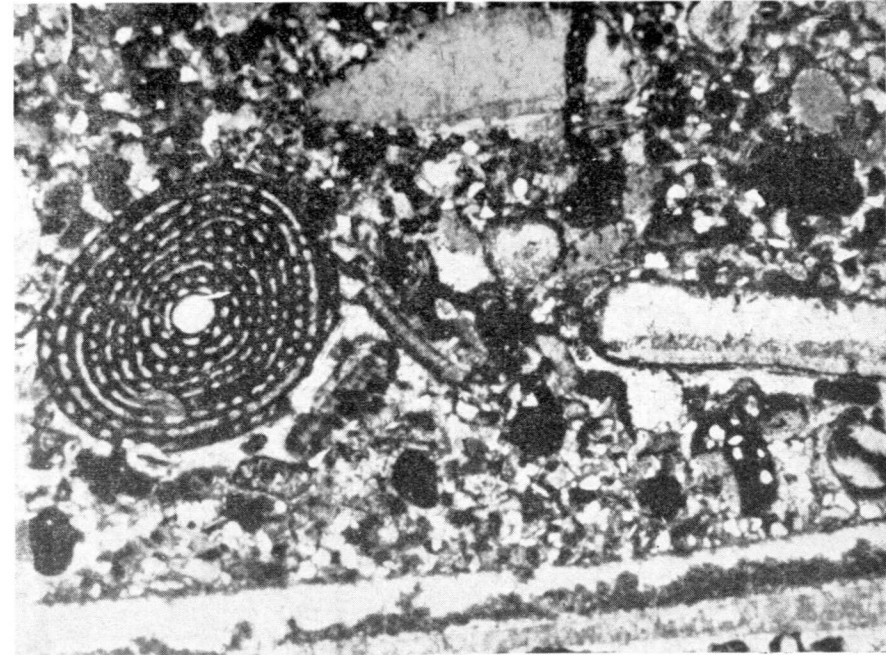


## LÁMINA XVI

## 1. SANTONIENSE.

*Zona de Santander.*

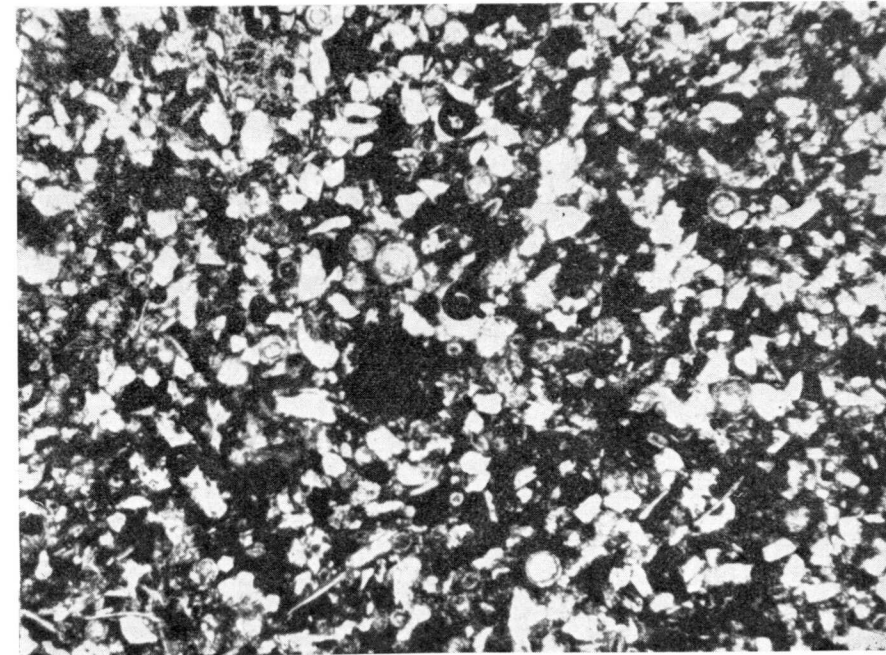
Muestra 5-S.

Biosparita detrítica, arenosa, con *Lacazina*, fragmentos de Moluscos, etc. ( $\times 25$ ).

## 2. ATURIENSE.

*Zona de Santander.*

Muestra 3-S.

Arenisca margosa, micácea, plagada de *Pithonella* ( $\times 60$ ).

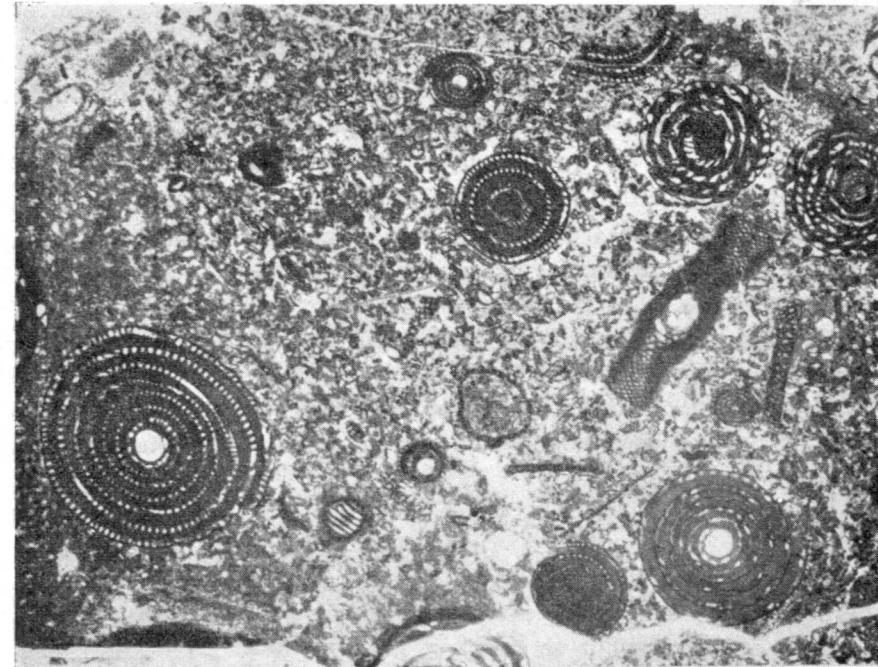
## LÁMINA XVII

1. PALEOCENO SUPERIOR,  
(¿ Ilardiense medio?).*Miranda de Ebro.*

Cumbre de Capilduy.

Biosparita (en parte microsparita) detritica, con *Opertorbitolites* cf. *douvillei* Nuttal y *Alveolina* cf. *globosa* (Leymerie) (× 8).

## LÁMINA XVII



## 2. LUTECIENSE.

*Zona de Santander.*

Muestra 1-5.

Arenisca calcárea con *Assilina* y Nummulites (× 30).

## ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA DE BILBAO

Para abarcar el mayor número posible de criaderos de hierro importantes de Vizcaya, nuestro estudio geológico subre totalmente la Hoja de Bilbao, la parte oriental de la de Valmaseda, la Sur de la de Guecho, y la parte de la de Castro Urdiales, necesaria para completar el rectángulo.

Los autores que hasta ahora han estudiado esta zona (3), han establecido una sucesión estratigráfica basada sobre todo en las diferencias de los tipos litológicos, debido a la poca ayuda que han podido prestar los macrofósiles, principalmente Rudistas, Ammonites y Orbitolinas, encontrados sólo esporádicamente y en niveles limitados. Algunos de ellos además, como las Orbitolinas, son de clasificación muy difícil y sólo los recientes estudios sistemáticos (Schroeder 1962, 1963) del aparato embrional parecen ofrecer la posibilidad de «no tener que conocer de antemano la edad de las Orbitolinas para darles un nombre» (Reichel).

El no disponer de más elementos que los litológicos ocasiona serias dificultades, debido a las repetidas alternancias de formaciones muy parecidas y a la violencia de la tectónica, que ha ocasionado innumerables contactos anormales.

Evidentemente, simples matices de diferenciación entre margas más o menos calizas, margas pizarreñas o arriñonadas, etc., que se repiten en la serie y que presentan además, a cierta distancia, variaciones laterales de facies, son motivo de inseguridad en las correlaciones, de confusión y de errores.

El mismo Rat al cual se debe hasta el momento la obra más completa sobre esta región, observa que... «Si las descripciones de los distintos autores están de acuerdo en los puntos importantes, sus imprecisiones y divergencias revelan las dificultades encontradas para reconocer sobre el terreno conjuntos litológicos específicos, para describirlos y para señalar sus límites en el mapa».

A todo esto hay que añadir la escasez de observaciones de detalle y la tendencia general a hacer trabajos de síntesis, abarcando zonas muy amplias.

El Cretáceo, del inferior al superior, es el terreno que cubre casi completamente el área estudiada. Sólo en el extremo NE. de ella aparece el Terciario en el fondo del sinclinal de Vizcaya, al que ya hemos hecho referencia en la parte general.

La orogenia post-Luteciense afectó en nuestra zona a un paquete de sedimentos que estaban situados en el orden que ahora vamos a describir.

(3) Recordemos, entre otros, a COLLETE (1884), ADAN DE YARZA (1892), CURY (1940), RÍOS (1948), RAT (1959) y LOTZE (Mapa inédito de Petrolífera Ibérica).

*Formación basal de las margas oscuras con intercalaciones de areniscas*

La formación más baja de la serie corresponde a las margas apizarradas negras con alternancias de areniscas que afloran en algunos sectores a lo largo del eje del anticlinal, y con mayor extensión en la zona de Miravalles ( lám. XVIII-2). No hemos encontrado restos fósiles, pero tenemos referencias del hallazgo de *Vycaria* y *Paludinidae* por Sáenz (1940) en los esquistos negros a la salida de Miravalles. Estos fósiles confirman el carácter salobre y lacustre de la sedimentación.

Sólo de modo indirecto, por su posición inferior a las areniscas fosilíferas, podemos atribuir a esta formación edad *Hauteriviense-Barremiense*, de acuerdo con la hipótesis de Rat (1959), que considera estas margas equivalentes de la parte media e inferior del flysch rojo wealdense de la provincia de Santander.

*Formación de las areniscas y margas arenosas inferiores*

Aunque localmente sea posible hacer separaciones, resultaría muy difícil, y quizás imposible, establecerlas a lo largo de todo el mapa, debido a las variaciones laterales y a la presencia poco constante de restos fósiles, que además son poco indicativos a los efectos de correlaciones muy finas.

En la *parte superior* dominan las areniscas de grano medio a fino, a veces arcillosas, a veces estériles o aparentemente estériles ( lám. XVIII-2) y otras con Foraminíferos muy pequeños y de clasificación difícil. El espesor es variable y puede llegar a los 150 metros.

La *parte media* resulta mucho más fosilífera, sobre todo en las areniscas de cemento calcáreo más abundante. Es casi constante la existencia de fragmentos de Equínidos y de *Cuneolina*, acompañados por Trochamínidos, Textularidos, Ataxofrágmidos, y esporádicamente, por Miliólidos pequeños, *Ophthalmidium*, Lagénidos, *Bolivina*, y quizá Discórbidos ( lám. XIX-1). Su espesor es bastante uniforme (alrededor de 300 metros, quizá más en ocasiones).

La *parte inferior* ( lám. XX) es aparentemente estéril y corresponde a unas areniscas de grano medio, o deficientemente calibradas, a veces muy cargadas de restos carbonosos, y a unas margas gris oscuro, micáceas, con disyunción en grandes nódulos, cuya estratificación es muy difícil de apreciar. En la margen derecha del río Mercadillo tienen unos 200 metros de espesor.

Entre los Foraminíferos de la parte media observamos la existencia de *Cuneolinas* primitivas (o *Precuneolinas*), muy pequeñas, bastante parecidas a la *Cuneolina camposaurii* Sartoni y Crescenti, que va del Valanginiense al

Albense medio-inferior. También se han clasificado (4) algunos macrofósiles: *Toxaster* cfr. *complanatus* Agassiz, del Neocomiense, *Toxaster* cfr. *amplus* Desor., del Neocomiense-Barremiense, *Pholadomya* cf. *elongata* Münt., del Barremiense inferior, *Hoplites deshayesi* Leymerie, del Barremiense-Aptense inferior.

La existencia de los fósiles mencionados, la falta de Orbitolinas, que según la opinión de los especialistas aparecen en la parte superior del Barremiense, y ciertos aspectos de las microfácies, muy semejantes a las del Barremiense de la cordillera Ibérica, nos inclina a considerar como *Barremiense* inferior y medio el conjunto en discusión.

*Formación de las areniscas de Orbitolinas y areniscas calcáreas fosilíferas*

Es una formación de tránsito entre las areniscas inferiores y la caliza de *Toucasia* suprayacente. Tiene caracteres bastante uniformes y puede correlacionarse en toda la Hoja de Bilbao. Su espesor máximo parece ser de unos 200 metros y está formada por areniscas micáceas y areniscas calcáreas, a veces pseudo-oolíticas, con frecuentes restos carbonosos, en las cuales se puede apreciar al microscopio una matriz con abundantes cristales subangulares de cuarzo (lám. XXI). Hay frecuentes Orbitolinas de aspecto borroso debido a la recristalización, junto con fragmentos de Equinodermos, a veces muy abundantes, y restos variables de Moluscos, Coralarrios, Briozoos, y esporádicamente, de espículas y Anélidos. Entre los microforaminíferos, están bastante bien representados los Ataxophrágmidos, Cuneolina y pequeños Miliólidos, mientras los Textuláridos, Lituólidos y Lagénidos son más escasos. Cabe destacar la presencia, aunque ocasional, de *Choffatella*, que no se vuelve a encontrar en las calizas superiores. De los macrofósiles se ha clasificado *Heteraster* cf. *oblongus* Brong.

No dudamos en considerar esta formación como *Barremiense superior-Aptense inferior*.

*Formación de la caliza de Toucasia*

El conjunto que más interés tiene en la sucesión estratigráfica, y en el cual se concentra toda nuestra atención, ya que en él se encuentran los criaderos de hierro de la zona de Bilbao, es el de la llamada *caliza urgoniana*, *caliza de arrecife*, *caliza coralígena*, etc. En el curso del presente capítulo volveremos sobre estas definiciones, que consideramos algo impropias. En nuestra opinión, es preferible el término caliza de Toucasia, ya que en dicho conjunto destacan principalmente las conchas de las Toucasias, sobre

(4) La clasificación de los macrofósiles es debida a la señorita Trinidad del Pan, Doctora en Ciencias Naturales, del Servicio de Estratigrafía de ADARO.

CUADRO DE DISTRIBUCION DE ELEMENTOS ORGANICOS E INORGANICOS EN LAS CALIZAS DE TOUCASIA Y EN LA FORMACION SUBYACENTE

		FORMACION DE LAS ARENISCAS DE ORBITOLINAS Y ARENISCAS CALCAREAS FOSILIFERAS	FORMACION DE LA "CALIZA DE TOUCASIA"		
			A	B	C
CARACTERES INORGANICOS	ARENISCAS				
	ARENISCAS CALCAREAS				
	RESTOS CARBONOSOS				
	PSEUDO-OOLITOS	.....			
	MICA				
	CALIZAS ARENOSAS	.....			
	CUARZO SUB-ANGULAR				.....
	CALIZAS MICROBRECHOIDES				.....
	CALIZAS CRIPTOCRISTALINAS			.....	
	CALIZAS RECRISTALIZADAS			.....	.....
CARACTERES ORGANICOS	RESTOS VARIOS				
	MOLUSCOS				
	EQUINODERMOS				
	CORALARIOS	.....	.....		
	BRIOZOOS	.....	.....		
	ANELIDOS	.....	.....		.....
	ESPICULAS	.....	.....		.....
	FORAMINIFEROS				
	Orbitolinas			.....	
	Cuneolina				
Ataxophrágmidos				.....	
Textuláridos	.....	.....	.....	.....	
Lituólidos	.....	.....	.....	.....	
Miliólidos	.....	.....	.....	.....	
Lagénidos	.....		.....		
Choffatella	.....				
Spirillina				.....	
		Trochammínidos, Polymorphínidos, Ophthalmidium, Glomospira, Bolivina, Nodosaria, etc, tienen una distribución muy irregular, frecuencias muy variables y generalmente escasas.			

..... Escaso  
 — Frecuente  
 — Abundante

Fig. 2

la superficie gris-claro de la caliza. Esta es gris oscura en fractura y presenta una evidente estratificación, bien marcada si se observa de lejos, alternando a veces con delgados espesores de margas y areniscas. En la parte inferior pasa gradualmente a la formación de areniscas calcáreas descrita anteriormente, aumentando, hacia abajo, su contenido detrítico. También en la parte alta puede observarse, a veces, un paso gradual a la formación superior margo-arenosa. El espesor total varía entre los 50 y 150 metros.

Hemos separado tres tramos, que describimos seguidamente:

#### A. Tramo inferior.

Caliza arenosa y caliza brechoide con cristales de cuarzo subangular. Restos abundantes de Lamelibranquios y frecuentes Orbitolinas. Buena cantidad de Equinodermos, Briozoos, *Cuncolina*, Ataxophrágmidos y Miliólidos pequeños. Frecuencias variables de Coralarios, Textuláridos, Lituólidos ( lám. XXII).

#### B. Tramo intermedio.

Calizas criptocristalinas, recristalizadas, con fragmentos de Moluscos (muchas Ostras) y, naturalmente, de Rudistos. Frecuencias variables de Equinodermos, Coralarios, *Cuncolina*, Ataxophrágmidos y Miliólidos. Los dos últimos tienen dimensiones más grandes en la parte alta, donde también son más frecuentes los Coralarios. Frecuencia variable, y por lo general escasa, de Anélidos, espículas, Orbitolinas, Textuláridos, Lituólidos y Lagénidos (láms. XXIII y XXIV).

#### C. Tramo superior.

Calizas arenosas, con cristales subangulares de cuarzo, calizas brechoides y calizas criptocristalinas recristalizadas. Buenas frecuencias de Moluscos, Equinodermos, Briozoos, Coralarios, Miliólidos, Ataxophrágmidos, *Cuncolina* y Orbitolinas. Los Miliólidos y Ataxophrágmidos son a veces de grandes dimensiones ( lám. XXV).

En la figura 2 indicamos la distribución de los elementos orgánicos e inorgánicos en la formación de la caliza de *Toucasia* y en la formación subyacente de areniscas de Orbitolinas y areniscas calcáreas fosilíferas.

El comienzo de la sedimentación de la «caliza de *Toucasia*» corresponde a la que varios autores han llamado «transgresión bedouliense». En realidad, no se trata de una verdadera transgresión, ya que el mar había invadido

algo antes esta región, sino de una fase calcárea de la sedimentación. También existe la tendencia de separar, en un plano regional, dos episodios:

El primero con la aparición de *Toucasia* (*Bedouliense*), y en el que se incluye las llamadas «dentillas» de la región minera vizcaína, y el segundo, con el apogeo de *Pseudotoucasia santanderensis* (*Gargasiense* y, para algunos, *Albense*), al cual deberían pertenecer las masas calizas al oeste de Santander, las calizas superiores de Castro de Valnera, parte alta de las sierras de Ramales, Gorbea, Duranguesado, etc.; es decir, de toda una región que no nos interesa directamente.

Para Adán de Yarza todas las *Toucasias* de Vizcaya pertenecen a la especie de *Requienia lonsdalei* (d'Orb.), y Rat cita *Toucasia* aff. *seunesi* Douvillé en San Pedro de Galdames. Según este autor las *Toucasias* de pequeño tamaño se encuentran sobre todo en los tramos inferiores de Rudistos, que pertenecen seguramente al *Aptense*.

En obras publicadas encontramos además las siguientes citas:

Mina de La Concha (Gallarta):

*Trochus almerai* Bataller

*Trochus ruizi* Bataller

*Semisolarium* aff. *alpinum* Pictet y Roux.

*Turbo* cf. *gucrangueri* d'Orb.

*Nerinea flexuosa* Sowerby

*Cerithiopsis ruizi* Bataller

*Trigonia carinata* Agassiz

*Trigonia* cf. *caudata* Agassiz

y, en los alrededores de Bilbao:

*Cerithium (Pyrazus) valeriae* De Ver. y De Lor.

En lámina transparente hemos podido obtener secciones del aparato embrional de Orbitolinas, por lo cual ha sido posible clasificar *Orbitolina (Palorbitolina) lenticularis* (Blumenbach) y *Orbitolinopsis simplex* (Henson). El estudio del aparato embrional, que ha sido recientemente objeto de investigación por Schroeder (1962, 1963), parece ser un buen medio de resolver el difícil problema de la clasificación específica de estas formas. *Palorbitolina lenticularis*, en cuya sinonimia se incluyen actualmente muchas especies (*O. lenticulata*, *O. bulgarica*, *O. conoidea*, *O. discoidea*, *O. tibetica*, *O. kurdica*), va desde el Barremiense superior a la base del Gargasiense, y *Orbitolinopsis simplex* es exclusiva del Bedouliense, pudiendo encontrarse, con dudas, en la base del Gargasiense. Junto con dichas Orbitolinas hemos visto en nuestras muestras numerosos ejemplares de *Cunecolinas* primitivas parecidas de *C. camptosaurii*, *Choffatella decipiens*, *Nautiloculina*, etc., etc.



En conclusión, todos los datos coinciden en que se debe situar nuestra caliza de *Toucasia* en el *Aptense inferior (Bedouliense)*.

#### *Calizas urgonianas.*

Algunos autores han utilizado el término de *caliza urgoniana* para indicar las calizas vasco-cantábricas.

La palabra «urgoniana» ha sido introducida por d'Orbigny (1850 y 1852) en su estudio de las calizas de Orgon (Francia). Su significado primitivo tenía por tanto un valor crono-estratigráfico bien definido y era sinónimo de Neocomiense superior, pero sucesivamente adquirió un valor de facies y sirvió para indicar las *calizas de Rudistos* parecidas a las de Orgon, que se encuentran en el Sureste de Francia, en el Cretáceo inferior de los Pirineos y en la cordillera Cantábrica.

Sin embargo, existen diferencias notables entre las calizas de Orgon y las que acabamos de mencionar, y prescindiendo de las biofacies, han sido designadas con el mismo nombre rocas bien diferentes por algunos de sus caracteres.

Por eso, y refiriéndose al conjunto calizo vasco-cantábrico, Rat (1959) aclara que, para él... «la facies urgoniana, sin perjuicio de la edad, corresponde a las calizas macizas que, aunque distintas por el aspecto exterior y las microfacies, tienen en común la falta casi total de elementos terrígenos, la importancia del cemento de calcita y de los constituyentes organógenos, una fuerte recristalización, y en las cuales la biofacies está caracterizada por *Rudistos* pertenecientes en su mayoría al género *Toucasia*».

Hemos visto que la llamada caliza urgoniana se limita, en la *Hoja de Bilbao*, a un tramo bien individualizado en la serie estratigráfica, y no se encuentra, como se ha creído hasta ahora, en varios niveles del Cretáceo inferior y medio.

Según algunos autores, sería peligroso emplear el término *Urgo-aptense*, por cuanto se corre el riesgo de introducir una precisión falsa. En nuestro caso podría utilizarse, ya que el tramo mencionado de caliza urgoniana de *Toucasia*, relativo a la *Hoja de Bilbao*, pertenece con seguridad al *Aptense*. De todas maneras rechazamos su empleo, por la ambigüedad del término urgoniano.

#### *Calizas de arrecife.*

...«Ha llegado el momento de dar una precisa definición del término arrecife, si es que tiene alguna validez...».

Desde 1894, en que Rothpletz hizo esta afirmación, durante sus estudios

de las dolomías del Tirol meridional, varios geólogos han tenido la preocupación de establecer nomenclaturas adecuadas y de valor universal para las formaciones de tipo arrecifal. Cumings y Shrock en 1928, y Cumings en 1932, introdujeron los términos de *bioherma* y de *biostroma*. Sin embargo, en vez de aportar aclaraciones, estos nuevos términos han sido la causa de ulteriores controversias y confusiones. En la reunión de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo, que tuvo lugar en San Louis en 1949, se puso de manifiesto que existían ideas muy diferentes acerca de los términos arrecife (*reef*), banco (*bank*), bioherma (*bioherm*) y biostroma (*biostrome*). Lowenstam, en 1950, ha sido el primero en poner de relieve la *capacidad* de los organismos de edificar una estructura, en vez de limitarse, como se había hecho anteriormente, a considerar la forma y la constitución de la estructura. Más recientemente Nelson, Brown y Brineman, después de un análisis crítico de todas las definiciones anteriores, proponen, en 1962, las que a su juicio, son las más adecuadas. Según estos autores, la clasificación debe de reflejar procesos y propiedades naturales de la formación de las rocas, y no tener solamente valores teóricos: sin olvidar que en la naturaleza los pasos son graduales y que sólo por excepción existen separaciones rígidas y violentas.

La nomenclatura propuesta está basada en la composición, forma y origen de los depósitos calizos organógenos, siguiendo y ampliando, principalmente, los conceptos de Cumings, 1932, y de Lowenstam, 1950, ya que el primero tiene en consideración la *forma*, y el segundo el *origen* de los mismos.

Nelson, Brown y Brineman, 1962, definen con el nombre de *skeletal limestone* (caliza esquelética) las calizas que consisten o están caracterizadas por una acumulación de material calizo esquelético, virtualmente *in situ*. Sin embargo, todos los demás autores comprenden, en la definición mencionada, las calizas formadas por restos de organismos, enteros o fragmentados, sin ninguna relación con la acumulación, que puede haber ocurrido en el mismo lugar o por transporte (véase, por ejemplo, Leighton y Pendexter, 1962, páginas 37-38). Nelson, Brown y Brineman, en contraposición de su *skeletal limestone*, introducen el término *fragmental limestone* para definir las calizas formadas por procesos físicos de transporte, abrasión, clasificación y deposición, y observan que estas últimas no pueden nunca considerarse como *calizas esqueléticas*, así como una arenisca no puede considerarse una roca ígnea por el sólo motivo de que el cuarzo originario haya cristalizado de un magma.

El empleo, en castellano, del término *esquelético* como correspondiente del inglés *skeletal*, no nos parece muy acertado, teniendo en cuenta también su ambigüedad, si no nos atenemos estrictamente a la definición de Nelson, Brown y Brineman.

Leighton y Pendexter, 1962 (pág. 60) consideran el término bioclástico (*bioclastic*) sinónimo de *skeletal*. Sin embargo, en la publicación francesa

*Essai de Nomenclature des Roches Sedimentaires*, 1961, se entiende con el nombre de caliza bioclástica, una roca formada principalmente por fragmentos de organismos calizos, y se citan como ejemplos la *calcirudita* y la *calcarenita*. Pero estas últimas están clasificadas, por Nelson, Brown y Brineman, en su *fragmental limestone*. La utilización del término bioclástico daría lugar, por lo tanto, a otras posibles confusiones.

Nos parece, además, que los términos mencionados son simplemente descriptivos y no tienen en cuenta el origen de la roca; por ésto, quizás resulte mejor la palabra *organógeno*, a pesar de que la citada nomenclatura francesa (pág. 52) no aconseja su empleo (...«prétant à confusion, appliqué usuellement pour désigner à la fois des roches organiques et des roches à organismes...»).

Sin embargo, en el *Diccionario geológico español*, de De Novo y colaboradores (1957, pág. 1501), se hace una distinción entre *orgánico* y *organógeno*, y se da la siguiente definición de *organógeno*, del griego *organon* (órgano) y *genos* (origen):

«Se dice de las rocas, conjuntos de rocas, depósito o terreno que tienen origen orgánico, ya, *más propiamente*, de la formada por crecimiento de los propios organismos, como ocurre con la caliza coralina, ya de la compuesta por las conchas y otros restos de organismos muertos.»

Nosotros emplearemos aquí el término de *caliza organógena* para indicar las calizas formadas por restos de organismos acumulados, en su mayoría, *in situ*, igual que la caliza esquelética (*skeletal limestone*), según la definición estricta de Nelson, Brown y Brineman, 1962.

FORMA.—En relación con la forma, los depósitos de calizas organógenas se clasifican como *bioherma* o *biostroma*.

*Bioherma*.—Es una formación de origen estrictamente orgánico, que tiene la forma de una bolsada, de un lentejón, o de otro tipo de estructura circunscrita, interestratificada entre rocas de litología diferente.

*Biostroma*.—Es una estructura puramente estratificada, en forma de capas y no de lentejones, constituida principalmente por organismos sedentarios.

ORIGEN.—Las calizas organógenas se distinguen en *arrecifes* (reefs) y *bancos* (banks), en relación con el potencial ecológico de los organismos que constituyen los depósitos.

*Arrecife*.—Es un depósito de caliza organógena formado por organismos que poseen el potencial ecológico de erigir una estructura topográfica rígida, resistente a la acción de las olas.

*Banco*.—Es un depósito de caliza organógena formado por organismos

que no tienen el potencial ecológico de erigir una estructura rígida, resistente a las olas.

En general, la zona de acción de las olas alcanza una profundidad aproximadamente igual a la mitad de la longitud de la ola. Esta profundidad se calcula en un promedio de 30 metros, aunque, en los océanos, donde las olas pueden alcanzar una altura de 15 metros y una longitud de 300 metros, sus efectos se extienden hasta la profundidad de 150 metros.

Entre los organismos que poseen el potencial ecológico de formar arrecifes, son muy conocidos los coralarios madreporarios y, en general, los organismos coloniales. También se ha observado la importancia de las *Algas* y de las Esponjas calcáreas.

Una estructura rígida puede formarse también por cementación de las conchas de bivalvos (sobre todo *Ostreas*). Se supone que los *Rudistos* y *Caprinidos* del Cretáceo hayan construido una formación rígida, en la zona de acción de las olas, por cementación de un individuo con otro y posiblemente también por entrelazamiento de sus valvas irregulares.

La existencia de un verdadero arrecife puede revelarse por: A) cambios verticales y horizontales en el conjunto orgánico; B) estructura y litología de los depósitos organógenos; C) sedimentos que rodean el arrecife.

Se ha visto, por ejemplo (Young, 1959), que en los arrecifes cretáceos de la formación «Edwards», la base está formada por corales del género *Cladophyllia*. Más arriba se encuentra una zona de *Monopleura-Toucasia*, otra de *Caprinuloidea* y otra de *Eoradiolites-Chondrodonta*. Los animales de las zonas superiores tienen concha más robusta que en las inferiores, y este cambio sería debido a la variación de las condiciones ambientales, ya que al principio de la construcción del arrecife, en la parte baja, las aguas eran relativamente tranquilas, mientras más arriba, en lo alto del arrecife, las condiciones de vida eran más difíciles, debido a la acción de las olas, y se necesitaban organismos más resistentes.

La evidencia de un arrecife la dan unas lenguas de caliza organógena que se extienden hacia la periferia, desde el núcleo macizo, interestratificadas con depósitos formados por restos erosionados y clasificados, o de precipitación química. Otra indicación es el progresivo paso lateral desde (1) una masa de fósiles en su posición de crecimiento, en una matriz muy fina, a (2) restos orgánicos gruesos, no erosionados y mal clasificados, en una matriz muy fina, a (3) restos orgánicos erosionados, clasificados o no, en una matriz de calcita transparente, para terminar (4) con una calcarenita o calcilita bien clasificada.

Parece ser (Link, 1950; Henson, 1950; Cloud, 1952) que un arrecife puede tener un desarrollo *vertical* muy pronunciado cuando la subsidencia es muy débil, y la velocidad de crecimiento de los individuos es igual que la del hundimiento del fondo. Por el contrario, se forman arrecifes de gran exten-



sión lateral y de pequeña altura, durante largos periodos de tranquilidad o en las regresiones marinas, y también cuando la velocidad de crecimiento es superior a la de la subsidencia.

Los arrecifes de Rudistos del Cretáceo inferior de Texas parecen apoyar las hipótesis mencionadas:

Durante la transgresión Frederickburgiense, los Rudistos formaban un arrecife extendido a lo largo del flanco occidental de la cuenca de Texas oriental. Cerca de Waco y de Belton, los arrecifes estaban de 10 a 30 metros encima de los depósitos contemporáneos. En los lados, buzando unos 35°, se extendían las lenguas del núcleo del arrecife, interestratificadas con depósitos formados por fragmentos de Rudistos con paso lateral a calizas granulares, con restos fósiles finos y bien clasificados. Dichas relaciones indican que los organismos crecían en la zona de acción de las olas y formaban una estructura topográfica resistente a la acción de las mismas. Más al Norte, acercándose a la antigua línea de costa, donde las aguas eran más bajas o la subsidencia más lenta, la facies de los arrecifes de Rudistos pasa a biostromal.

La existencia de un arrecife puede ser delatada también por los caracteres de los sedimentos que lo rodean, ya que la barrera arrecifal modifica las condiciones del ambiente, como la circulación y el quimismo de las aguas de la cuenca de deposición. El resultado es la posible formación de evaporitas en las lagunas del *back-reef* (zona que se extiende entre el arrecife y la costa) y la acumulación de sedimentos terrígenos, atrapados detrás de la barrera, mientras en condiciones normales continuarían su camino mar afuera.

Sin embargo, los organismos constructores pueden crecer también debajo de la acción de las olas o en aguas tranquilas, formando estructuras que no afectan al ambiente circundante.

#### *Observaciones sedimentológicas*

Considerando las condiciones ambientales, en las que se ha podido formar la caliza de *Toucasia*, se deduce que se ha depositado en aguas normalmente claras, ya que sólo esporádicamente se encuentran elementos detríticos terrígenos inter-estratificados (Galdames) y que la temperatura de las aguas debía ser relativamente elevada, para favorecer la precipitación de carbonato cálcico. Una gran parte de los restos fósiles corresponden a los que hemos visto tener el potencial biológico de erigir una estructura topográfica resistente a la acción de las olas: *Rudistos*, *Ostras*, *Coralarios*, *Equinodermos*, *Briozoos*.

Por lo tanto, la caliza de *Toucasia* corresponde a una formación de tipo arrecifal, según la definición de Lowenstam, 1950, y de Nelson, Brown y Brineman, 1962.

La caliza está estratificada en capas de una cierta continuidad. Esto parece

indicar que la superficie no se ha elevado por encima de los sedimentos contiguos y que se trata de una formación parecida a la de un *biostroma* y no de una bioherma.

Entre los restos fósiles que forman la caliza, son más abundantes los Rudistos y las Ostras, mientras escasean los Coralarios, que son organismos constructores por excelencia, y ya hemos dicho anteriormente, que las Ostras y los Rudistos sólo pueden haber construido una formación rígida, en la zona de acción de las olas, por cementación de los individuos o entrelazando sus valvas. Para los *biostromas de Rudistos* que cubren grandes superficies de la parte norte-central de Texas, se supone (Nelson, 1959) que en condiciones ideales, y en aguas muy bajas, los organismos hayan podido proliferar de un modo extraordinario, formando un arrecife de gran extensión lateral, que no presenta indicios de la acción de las olas, no tiene relieve topográfico y ocupa un área que corresponde normalmente a sedimentos de deposición mecánica o química. Este caso, por el tipo de formación y sus constituyentes orgánicos, parece adaptarse muy bien a las calizas de *Toucasia* de la Hoja de Bilbao.

En la Sierra de Vicente, cerca de Ramales (Hoja de Valmaseda), Rat (1959, pág. 273, fig. 34, lámina I, fig. 1) describe una masa central, elevada, de caliza urgoniana que presenta lateralmente, en la parte inferior, alternancias de calizas estratificadas más o menos arenáceas, y de margas arenosas. Rat supone que la masa caliza central formaba un relieve debido a los organismos constructores, y que continuaba elevándose con las mismas características aún cuando, lateralmente, la parte baja fuera invadida por las aportaciones terrígenas. Este es un ejemplo típico de «bioherma», según los conceptos explicados anteriormente, y no nos consta que existan formaciones de este tipo en el sector correspondiente a la Hoja de Bilbao.

Las calizas de Ramales podrían compararse con las barreras arrecifales que hemos mencionado en el flanco occidental de la cuenca de Texas oriental. Hemos visto que allí hay un paso lateral, hacia el Norte, a una facies de biostromas. Lo mismo pasaría, en nuestro caso, desplazándose del Oeste al Este, de la Hoja de Valmaseda a la Hoja de Bilbao.

#### *Consideraciones*

Por lo que se deduce directa o indirectamente, todos los que se han interesado por el problema de las calizas de los criaderos de Bilbao, han tenido la idea de que se tratara de islotes calizos, con pasos laterales muy rápidos y bruscos a margas o areniscas, dando por descontada la irregularidad y discontinuidad de la caliza, debido a su índole arrecifal. Prácticamente, según cuanto hemos expuesto anteriormente, han llevado a su extremo el concepto

de arrecife como sinónimo de bioherma, interpretando como biohermas casi todos los afloramientos de calizas que existen en superficie.

Por el contrario, los datos que acabamos de exponer ratifican los resultados del estudio estratigráfico, confirmando nuestra opinión de que la «caliza de *Toucasia*» forma, en la cuenca de Bilbao, un horizonte prácticamente continuo. Y no puede ser de otra manera, en un área tan limitada, de sólo 7 a 10 kilómetros de ancho (teniendo en cuenta los afloramientos actuales), en la cual al no existir formaciones de biohermas, vemos no muy difícil, sino imposible, una sedimentación mixta, sincrónica, con sectores de mar claro, donde se deposita la caliza, y otros lindantes de aguas turbias, de deposición detrítica. Las variaciones laterales de facies son lentas y graduales y los contactos bruscos entre calizas y margas o calizas y areniscas, sólo pueden explicarse por falla. Esta explicación es, por otro lado, la más lógica y natural, ya que la zona considerada está afectada por un sin fin de accidentes, en número aún superior a los que pueden verse en la figura 3, en la cual hemos representado solamente los más importantes.

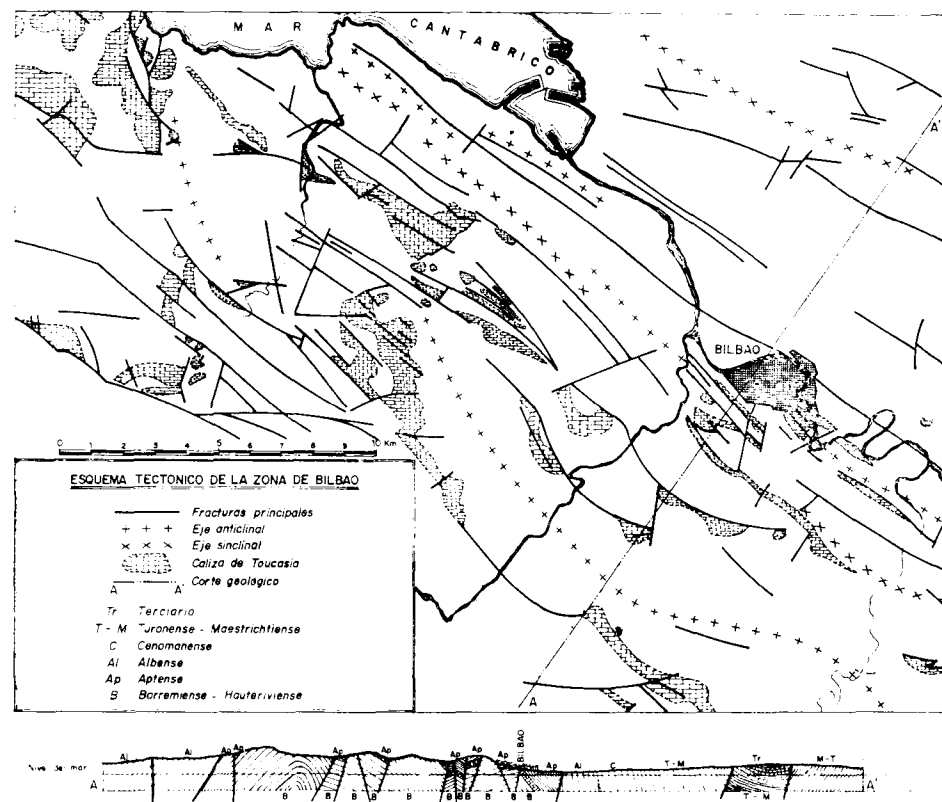


Fig. 3

En definitiva, no se ha dado la debida importancia al papel importantísimo de la acción tectónica, en la cual interviene también el comportamiento disarmonico de los tramos flyschoides superiores e inferiores, plásticos, frente a las fuerzas que los afectan, y para justificar el caos aparente se han buscado explicaciones de tipo sedimentológico, que no están de acuerdo con los datos estratigráficos, ecológicos y paleoambientales.

#### *Formación marga-arenosa superior a la caliza de Toucasia*

Aflora en dos fajas que se extienden longitudinalmente en los flancos del gran anticlinal que cruza la Hoja

En el flanco SO. está representada, fundamentalmente, por margas finamente arenosas gris oscuras, azuladas, compactas, a veces tabulares o bien hojosas, con un espesor máximo de 250 metros al NO. de Galdames.

En el flanco NE., por margas finamente arenosas gris azuladas, tabulares u hojosas, escasamente micáceas. El espesor máximo aparente es de 500 metros aproximadamente, pero no debe llegar a tanto, y es muy probable que en los sectores donde parece alcanzar tal espesor exista alguna repetición por falla.

Todas estas margas son en general bastante calcáreas cerca de las calizas de *Toucasia*.

Al aumentar su contenido psamítico pueden dar paso lateral a margas arenosas y verdaderas areniscas, que a veces están directamente encima de la caliza de *Toucasia*. (Quizás sea éste uno de los motivos por los que los autores han tenido la impresión que existan más tramos de calizas).

Son areniscas de grano medio a fino, micáceas, grises o amarillentas, lajosas, fáciles de descomponer.

En el flanco SO. forman una faja estrecha a lo largo de Utiaga-Sodupe-Amavizcar-Garay, y las hay también en los alrededores de Rojadillo (lámina XXVI-1).

En el flanco NE. estas facies de margas arenosas y areniscas se encuentran en la alineación Abanto-Ortuella-La Escontrilla, y al Sur de Retuerto (lám. XXVI-2). Aparecen tableadas sobre las calizas de Arraiz, al Sur de Bilbao.

La presencia de fósiles está directamente relacionada con la constitución litológica. Las margas calcáreas son las más ricas en restos orgánicos, que disminuyen en cantidad cuando el contenido arenoso aumenta, hasta quedar totalmente ausentes en las areniscas puras. Partículas carbonosas y mica, son frecuentes en toda la formación y también en las margas calcáreas. Se observan casi constantemente espículas, pero generalmente escasas y muy finas. Los Equinodermos están bien representados, seguidos por los Moluscos y, esporádicamente, por Anélidos. Entre los Foraminíferos son más frecuentes

los Trochamminidos, Ataxophrágmidos, Polymorphinidos y Cuncolinas muy pequeñas. Los Lagénidos tienen una cierta frecuencia en los afloramientos al Sur y Sureste de Bilbao; las Bolivinas, en las margas calcáreas. Respecto a las formaciones inferiores, observamos la aparición de Rotalipóridos (muy pequeños y de difícil clasificación) y la desaparición de las Orbitolinas y también, prácticamente, de los Miliólidos, ya que hemos observado su presencia solamente en los depósitos muy pegados a la caliza de *Toucasia*.

Esta formación debería corresponder al Aptense superior (*Gargasense*) y es probable que sea sincrónica de las de aquellas zonas, como el sector de Ramales, en las que, continuando la sedimentación calcárea de aguas someras, se desarrollaba la *Pseudotoucasia santanderensis* (segundo episodio urgoniano de Rat).

#### *Formación de las margas gris-azuladas apizarradas*

Estas margas, normalmente apizarradas, a veces arrañonadas y de fractura muy desigual, tienen un espesor máximo que no parece pasar los 500 metros. Pueden presentar hiladitas más arenosas y el contenido de arena aumenta en la base, donde son bastante micáceas. Entonces pierden su color azul y se van haciendo pardas.

El carácter microscópico dominante, es la existencia de pequeños ejemplares de Rotalipóridos (sobre todo *Hedbergella*) y de fragmentos carbonosos ( lám. XXVII-1). Los Foraminíferos son todos de tamaño muy pequeño y, además de los Rotalipóridos, se observan esporádica y escasamente, Discórbidos, Lagénidos (*Nodosaria* y otras formas alargadas), Trochamminidos, *Glomospira*, *Ophthalmidium*, *Bulimina* y *Spirillina* (?). Entre los macrofósiles, sólo se observan restos escasos y pequeños de Equínidos y muy escasos de Moluscos.

En los afloramientos del flanco NE. del anticlinal de Bilbao, se observan también secciones circulares recristalizadas que parecen corresponder a Radiolarios ( lám. XXVII-2).

La sedimentación se debía efectuar en un ambiente de mar libre (existencia de formas planctónicas), pero no muy alejado de la costa y en condiciones desfavorables para el desarrollo de la fauna (fósiles escasos y pequeños, restos carbonosos).

En el lado NE. del anticlinal, cerca de San Pedro Abanto, hemos encontrado el *Desmoceras latidorsatum* Mich. y pequeños ejemplares de Ammonites atribuibles a formas juveniles de Hoplítidos, y en el kilómetro 127 de la carretera de Santander a Bilbao, *Hoplites* cf. *dentatus* Sow. Estas formas son más bien albenses.

Cerca de Larrea de Galdames, en la parte superior de las margas azuladas se cita en la literatura:

*Acanthoplites* cf. *bergeroni* Seunes

*Chelonicerias* ? cf. *martini* d'Orb.

*Metahamites* ?

*Holcodiscus* ?

*Parahoplites* cf. *borowae* Uhlig

Basándose en la distribución stratigráfica de Pivetau (1952) y Zittel (1883) el *Acanthoplites bugeroni* resulta del Aptense superior-Albense inferior, el *Chelonicerias martini* del Aptense y el *Parahoplites borowae* del Neocomiense-Aptense. Los Rotalipóridos aparecen en el Cretáceo inferior y son frecuentes en el Aptense-Albense.

Los datos paleontológicos no son definitivos para precisar la edad de esta formación, pero en vista de las informaciones que nos pueden proporcionar y de la posición stratigráfica, intermedia entre las margas calcáreo-arenosas del Bedouliense y las margas calcáreas tabulares de espículas, debería representar el período de tiempo que va del Aptense superior al Albense inferior.

#### *Formación de las margas tabulares de espículas*

En el flanco SO. esta formación corresponde a una serie de 500 a 1.000 metros de espesor, formada por repetidas alternancias de calizas más o menos arcillosas y de margas, de aspecto tabular, en capas de 15-25 cm., de color gris, claro en superficie y oscuro en fractura. Las capas más calizas tienen más vetas de calcita y son más fértidas al golpearlas. Hacia la base, la formación se va haciendo más hojosa y va perdiendo el carácter calizo. Lo mismo ocurre en la parte superior, aunque con menos evidencia. En la parte occidental hay un nivel de 30-40 metros de espesor, aprovechable en cantera. Del Oeste hacia el Este el espesor va disminuyendo y la formación se hace más margosa y apizarrada.

En el flanco NE. observamos los mismos caracteres de margas grises hojosas, en la parte inferior, que van pasando hacia arriba a otras más calizas, haciéndose tabulares, con vetas de calcita, explotables en cantera. El espesor es superior a los 500 metros. A ambos lados de la playa de Somorrostro aparece un nivel de caliza gris oscura en fractura, clara en superficie, dura, cristalina, fértida, con grandes restos orgánicos, con un espesor de 30-40 metros. Aquí se observan, también, tramos arenosos de color amarillento, y arcillosos, y otros de calizas brechoídes que engloban trozos de caliza de *Toucasia*.

Un carácter común para toda la formación es la existencia constante de espículas, a veces con extraordinaria abundancia ( lám. XXVIII), acompañadas por frecuencias variables de *Textuláridos*, *Ataxophrágmidos* y *Discórbidos*, y, en menor cantidad, de *Bolivina* y *Lagénidos* ( lám. XXIX-1). Normalmente, las muestras de mayor contenido calcáreo son más ricas en restos orgánicos.

Sin embargo, pueden apreciarse algunas diferencias entre el sector SO. y el NE., en relación con el carácter más calizo y costero de este último, sobre todo en la zona que corresponde a la Hoja de Guecho.

Al SO., las rocas contienen abundantes partículas carbonosas, mucho más escasas en el NE.

Los *Rotalipóridos*, frecuentes en la zona SO., se encuentran sólo de un modo excepcional en la NE., y, por el contrario, encontramos en esta última *Miliólidos* pequeños y *Polymorphínidos*, que faltan en la primera.

Los *Equinodermos*, escasos en el SO., son a veces muy abundantes en el NE., de un modo particular en los tramos más calizos o arenosos. También las *Cuneolinas*, muy pequeñas y escasas en la zona SO., son más frecuentes y a veces de un tamaño mayor en la NE.

Los tramos de caliza en la Hoja de Guecho, de tipo brechoide, contienen también *Briozoos*, frecuentes restos de *Moluscos*, y, a veces, *Algas* y algún *Lituólido*. Algunos autores las han confundido con la formación de las calizas de *Toucasia*, de las cuales, sin embargo, se distinguen claramente por el conjunto de los caracteres litológicos y micropaleontológicos. (Compárese, por ejemplo, las fotomicrografías de las microfácies de las muestras de las verdaderas calizas de *Toucasia* (láms. XXIII, XXIV), con las de las muestras 800 y 389 (lám. XXX) que corresponden a las calizas intercaladas en la formación tabular que estamos describiendo, constantemente ricas, además, en espículas). Es cierto que se encuentran a veces fragmentos de *Toucasia*, y alguna *Orbitolina* (muestra 389), pero ambas son resedimentadas.

Y para terminar observamos, al Norte de Bilbao, la existencia de Radiolarios (lám. XXIX-1) que ya habíamos encontrado en este mismo sector en la anterior formación de las margas apizarradas subyacentes. Es un hecho curioso que quizás pueda tener relación con un mayor enriquecimiento en sílice de las aguas, debido a la proximidad de algún fenómeno eruptivo que tuviera lugar ya en aquellos tiempos. Sin embargo, hemos visto que también en el sinclinorio al Sur de Bilbao, en la formación que está encima de las calizas de *Toucasia*, la riqueza de organismos silíceos (espículas de Esponjas) es bastante alta.

Acerca de la formación de las margas tabulares se han emitido muy diferentes opiniones. Para Collette (1884), es en parte jurásica, para De Verneuil y sus colaboradores (1852, 1860) pertenece al Cenomanense superior, para Carez (1881) es del Aptense y para Adán de Yarza (1892) del Cenomanense. Rat (1959), después de un examen crítico de la clasificación de los fósiles hecha por los autores anteriores, se inclina hacia el Aptense superior y parte del Albense.

Ríos (1948) observa que «son margas muy calizas o calizas de textura brechoide, con cantos de calizas fosilíferas, que presentan engastados fragmentos de conchas de *Toucasia*. No son brechas tectónicas, pues están perfecta-

mente interestratificadas, y pasan a areniscas grises muy claras, de grano semifino, ásperas y silíceas. Son además, muy organógenas, y hemos visto en ellas, *Rhynchonellas*, *Lamelibranchios*, *Gasterópodos* y *Coralarios* en abundancia relativa, pero muy mal conservados (en fragmentos)»... E incluye esta formación en su «Tramo B» (Aptense-Albense).

A través de nuestro estudio hemos podido comprobar que la mayoría de los restos de macrofósiles son rodados y resedimentados. Además, el carácter brechoide o microbrechoide de algunos tramos (sobre todo de los que son más calizos) nos confirma que una parte de estos sedimentos se ha formado a expensas de la demolición de masas calizas aflorantes en los alrededores, muy probablemente de las biohermas de *Pseudotoucasia santanderensis* de la zona de Ramales y de otras formaciones parecidas lindantes, ya que al ligero levantamiento del fondo marino de dicho sector debe haber correspondido una emersión de los otros sectores que estaban situados más próximos a la antigua costa.

Se explica así también la discordancia de opinión de los autores sobre los fósiles encontrados y el carácter no tectónico de las brechas.

Microfácies de espículas y de Foraminíferos, casi idénticas de las nuestras, han sido descritas por Cuvillier y Sacal (1951) en el Albense y Vraconiense de la cercana Aquitania. En la parte superior de la formación hemos podido separar por levigación de un nivel margoso una microfauna muy rica, con *Hedbergella trocoidea* (Gandolfi) que va del Albense al Cenomanense inferior, *Hedbergella washitensis* (Carsey) del Albense y Cenomanense, y formas bastante parecidas de *Hedbergella hiltermanni* Loeblich y Tappan, del Cenomanense basal americano.

Por lo tanto, en nuestra opinión, debe descartarse el Aptense e incluir la formación en el Albense.

#### *Formación de las margas negras superiores*

Se trata de una formación constituida por pizarras casi negras y areniscas en bancos no muy gruesos (0,5-1 m.), con un espesor aparente, en el sector SO., de unos 1.000-1.200 metros. Presenta en superficie un relieve suave con escasos afloramientos.

Esta formación se distingue claramente de las margas tabulares con espículas descritas anteriormente y forma el tránsito a la formación de las areniscas superiores. Su contenido arenoso aumenta de abajo hacia arriba, y así, mientras en la parte inferior sólo hay lechos de areniscas en finas hiladas entre margas oscuras, grises, apizarradas, con nódulos ferruginosos arrosariados, en la superior los bancos de areniscas, micácea y amarillenta, son cada vez más potentes. Tanto las margas como las areniscas tienen sustancia carbonosa (lámina XXXI).

En el sector NE., el espesor es aparentemente bastante más pequeño en comparación con el SO., y quizás esto sea debido, en parte, a los violentos repliegues y a fallas. La facies es parecida y corresponde a margas oscuras pizarreñas con nódulos de limonitas y restos carbonosos, con lechos de areniscas claras o amarillentas, micáceas, de sólo algunos centímetros de espesor.

Durante este período ha ocurrido un progresivo levantamiento de la zona, con una deposición detrítica, de tipo preponderantemente continental. El ambiente de sedimentación vuelve a tener por algún tiempo carácter muy parecido al de las margas negras que existen, según hemos dicho al principio de esta exposición, en los afloramientos hauterivienses-barremienses del núcleo del anticlinal.

La falta de restos fósiles o su extremada escasez, no permite fijar la edad de esta formación, que por su posición estratigráfica, inferior a las areniscas de Valmaseda, debería situarse en el Albense superior.

#### *Formación de las areniscas superiores*

Ocupa la esquina inferior izquierda del mapa, con un relieve muy destacado y formando un monoclinal de espesor superior a los 1.500 metros. El espesor total de esta formación, que continúa en las Hojas contiguas, sería de unos 2.000 metros, según Rat (1959), y, de unos 4.000, según Ríos (1948) (serie esquisto-arenosa de Valmaseda). Se compone de gruesas y compactas bancadas de areniscas micáceas arcillosas y margosas, que alternan con otras de margas pizarreñas, o más arenosas, micáceas, entre las que se intercalan, a su vez, hiladitas de areniscas micáceas, duras; todo ello de colores grises parduscos, oscuros. También hay nódulos ferruginosos amarillos.

En la parte inferior las areniscas son más puras y amarillentas. La formación, en el aspecto paleontológico, es en su mayoría estéril, pero a la altura de «La Herrera» pasa un nivel de Orbitolinas, que también aparece en otras estaciones ( lám. XXXII). Al Sur de Valmaseda, en la parte superior, y ya fuera de la Hoja de Bilbao, se encuentran, según Rat, frecuentes Orbitolinas de gran tamaño.

En la parte NE., la misma formación en capas muy inclinadas y a veces subverticales, aflora en una faja estrecha al Norte de Bilbao, desde San Vicente de Baracaldo al límite oriental de la Hoja. Es difícil precisar su espesor, que no parece superar los 1.000 metros.

La formación de las areniscas de Valmaseda está limitada, en la parte alta, por el «flysch de bolas» del Turonense, y ha sido atribuida al Cenomanense por Adán de Yarza (1892), que encontró, en La Herrera, *Pseudodiadema blancheti* Desor. y *Javina faujasi* Pictet. Rat (1959) cita en la misma localidad *Dipoloceras* aff. *pseudon* Spath, *Perrinquieria inflata* Sowerby, *Histocera-*

tidos y *Orbitolina* cfr. *subconca* Leymerie, y, en unas capas próximas, *Arca carinata* Sowerby, *Acellana incrassata* Mantell, *Hysterocheras* aff. *orbigny* Spath y *Prohysterocheras* aff. *candollei* Pictet.

*Perrinquieria inflata*, *Acellaneda incrassata*, *Hysterocheras orbigny* y *Prohysterocheras* (*Goodhallites*) *candollei* son todos característicos del Albense superior y por eso Rat atribuye a este piso la parte inferior de las areniscas.

Nosotros en la zona de Allende, además de Orbitolinas y pequeños Lamelibranquios atribuibles a la familia Astártida, hemos podido clasificar: *Neithca* (*Vola*) aff. *aequicostata* Lam., del Cenomanense, *Anatina producta* Zittel, del Cretáceo superior, *Inoceramus* aff. *latus*, del Cenomanense, *Glauconia* aff. *kefersteini* Gold., del Albense-Cenomanense, *Apiocrinus* sp.

Por consecuencia, toda la formación puede considerarse *Cenomanense*, excepto la parte basal, que pertenece al *techo del Albense*.

#### *La serie terminal*

Para completar el cuadro estratigráfico, hemos recorrido brevemente la zona que corresponde a la esquina NE. de la Hoja de Bilbao, integrándola con observaciones hechas en los sectores lindantes de las Hojas de Durango y de Guecho.

La parte más baja corresponde a una formación de margas y margas calcáreas parcialmente metamórficas de contacto y con filones de vulcanitas, de atribución dudosa entre *Turonense* y *Cenomanense*.

A continuación se encuentran calizas y margas de un *Turonense* probable con *Rotalipóridos*, *Heterohelix globulosa*, *Pithonella*, *Radiolarios*, espículas, en facies parecidas a las del Pirineo y Aquitania ( lám. XXXIII).

En las facies más detríticas del *Cretáceo superior* existen abundantes *Rotalidos*, *Rotalina cayeuxi*, *Heterohelix*, *Globotruncana* spp., *Bolivina*, *Lagénidos*, *Rugoglobigerina* y otros pequeños Foraminíferos, *Pithonella*, *Stomiosphaera*, espículas. Esta facies es muy conocida en el flysch *aturicense* del Norte de España y de Aquitania.

Se señala a continuación un *Garumnense* con calizas de grano fino, rojas, grises o verdosas y con margas rojizas. En realidad, y según las muestras que aquí hemos tomado, estos depósitos pertenecen en parte al Cretáceo superior (Campaniense-Maestrichtiense) y en parte al Paleoceno, de *facies francamente marinas* ( láms. XXXIV y XXXV).

Alternancias de margas verdosas y rosadas y de areniscas, con microfaunas del *Campaniense* (*Heterohelix*, *Planoglobulina*, *Globotruncana stuarti*, *Globotruncana* cf. *rosetta*, *Hedbergella*); del *Maestrichtiense* (*Globotruncana stuarti*, *Globotruncana plicata*, *Globotruncana caliciformis*, *Globotruncana* cf. *formicata*, *Heterohelix*, *Planoglobulina*); y del *Paleoceno* (*Globigerina linaperta*,

*Globigerina trilocularis*, *Globigerina* sp., *Globorotalia* cf. *aragonensis*, espículas).

En los depósitos arenosos del *Paleoceno* y *Eoceno inferior* se encuentran *Globigerinas*, *Truncorotalias*, *Radiolarios*, espículas, *Melobesias*.

La serie termina con areniscas, que han resultado estériles en las pocas muestras tomadas, y que se atribuyen al Terciario s. l.

#### CONCLUSIONES

Después de la sedimentación predominantemente detrítica del Wealdense, un mar relativamente tranquilo y poco profundo empieza a enriquecerse en carbonatos a final del Barremiense, y las areniscas que iban depositándose adquieren un carácter cada vez más calizo (formación de las areniscas calcáreas fosilíferas y areniscas con las primeras *Orbitolinas*). El aumento de temperatura de las aguas favorece la precipitación de carbonato cálcico y la formación de la caliza de *Toucasia* que en parte (pero no necesariamente) pueden haber actuado como organismos constructores. Episodios esporádicos de aportación más o menos detríticas, delatadas por los niveles margosos o margoso-arenáceos interestratificados con las calizas, interrumpen la deposición calcárea, que vuelve a repetirse cuando las condiciones ambientales son otra vez favorables. Finalmente, el gradual hundimiento del fondo marino acaba con la sedimentación de las calizas de *Toucasia*, que en su parte superior contienen también grandes *Miliólidos*, y a través de calizas margosas con *Foraminíferos*, *Equinodermos* y alguna espícula, y localmente areniscas, da paso a las margas oscuras de *Rotalipóridos*.

La caliza de *Toucasia*, una vez consolidada, puede compararse a una costra con espesor variable de 50 a 150 metros aproximadamente, intercalada en una potente masa plástica, que la orogénesis alpina quebró, fracturó y desmenuzó, originando los contactos anormales y el complicado panorama que hoy día presenta la región.

Hasta hoy todos los autores, indistintamente, habían creído que las calizas eran masas de distribución irregular, tanto horizontal como verticalmente (tipo «bioherma»). Cualquier investigación debía tener, por lo tanto, un carácter completamente aleatorio, en cuanto que no se podía prever si debajo de un nivel de caliza pudiera existir otro, y tampoco se podían formular conjeturas sobre su extensión horizontal.

Por otra parte, la falta de elementos precisos para diferenciar las formaciones inmediatamente superiores a las calizas, de las inferiores, no permitía evidentemente ninguna previsión de la posible existencia, en profundidad, de las calizas que nos interesan.

El nuevo concepto de un único nivel de la caliza de *Toucasia* nos permite, por el contrario, eliminar las formaciones que están debajo del lecho de

cualquier tramo calizo, excepto, naturalmente, en el caso de que existan repeticiones por falla.

El concepto de su continuidad nos permite extender la investigación a los sectores próximos a las calizas, buscando su continuación debajo del recubrimiento.

El haber podido establecer, por medio del estudio de las microfacies, un conjunto de caracteres propios de las formaciones inmediatamente supra e infrayacentes a las calizas de *Toucasia*, nos permite saber, en cualquier momento, en qué punto de la escala estratigráfica nos encontramos.

Esto nos ofrece la posibilidad de descartar las zonas sin interés, donde afloran las formaciones inferiores, y de orientar nuestras investigaciones en aquellas zonas donde afloran las formaciones superiores.

MICROFACIES  
DE LA ZONA DE BILBAO  
(Neocomiense - Paleoceno)  
Láminas XVIII - XXXV

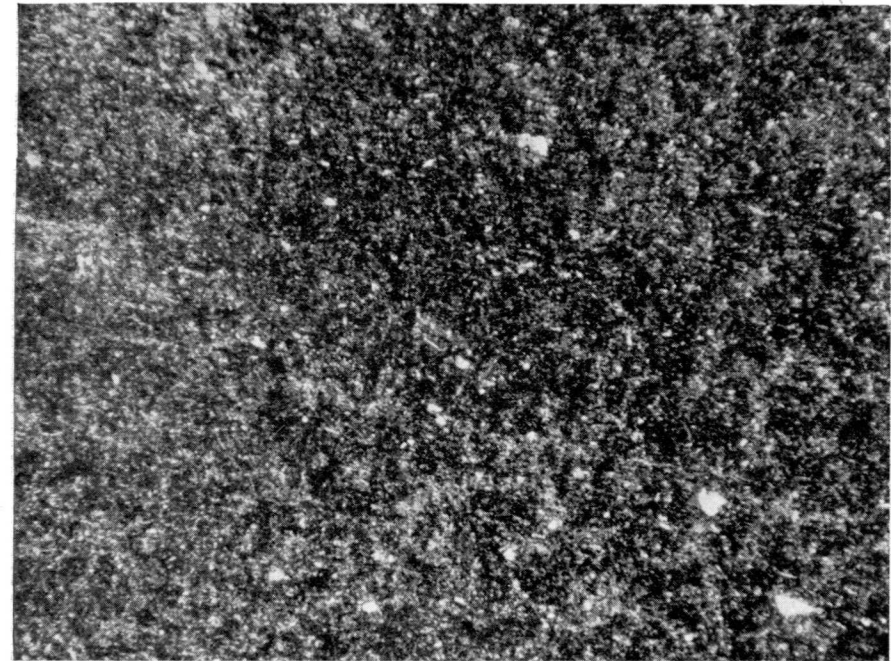
## LÁMINA XVIII

## 1. NEOCOMIENSE (?).

*Formación de las margas negras inferiores.*

En el eje del anticlinal, cerca de la presa de Zollo, Muestra 876.

Marga carbonosa, algo arenosa, gris oscura, finamente micácea, Estéril ( $\times 45$ ).



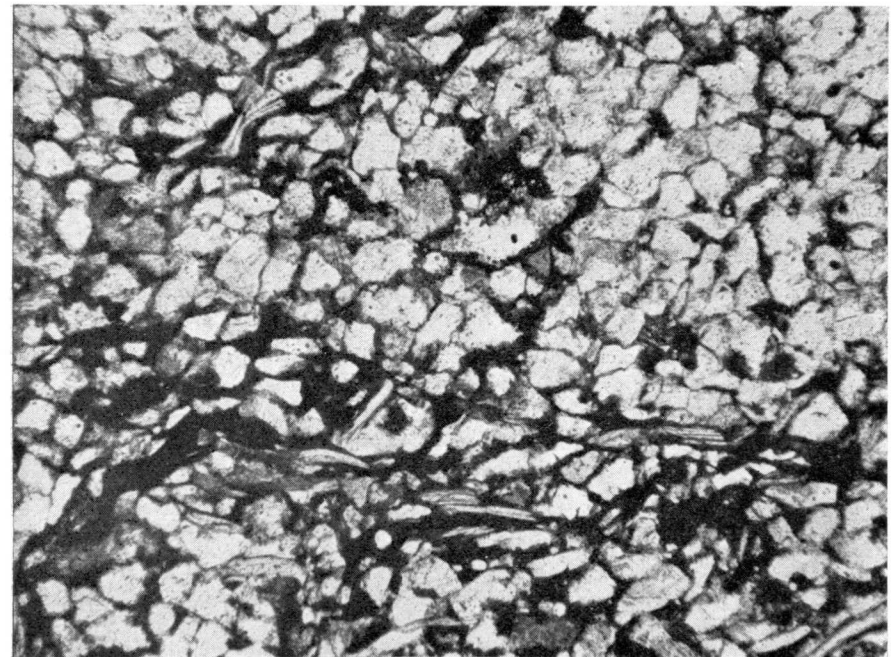
## 2. BARREMIENSE.

*Formación de las areniscas inferiores.*

Tramo A.

Mendivil, muestra 810.

Arenisca micácea deficientemente calibrada, carbonosa, aparentemente estéril ( $\times 45$ ).





## LÁMINA XIX

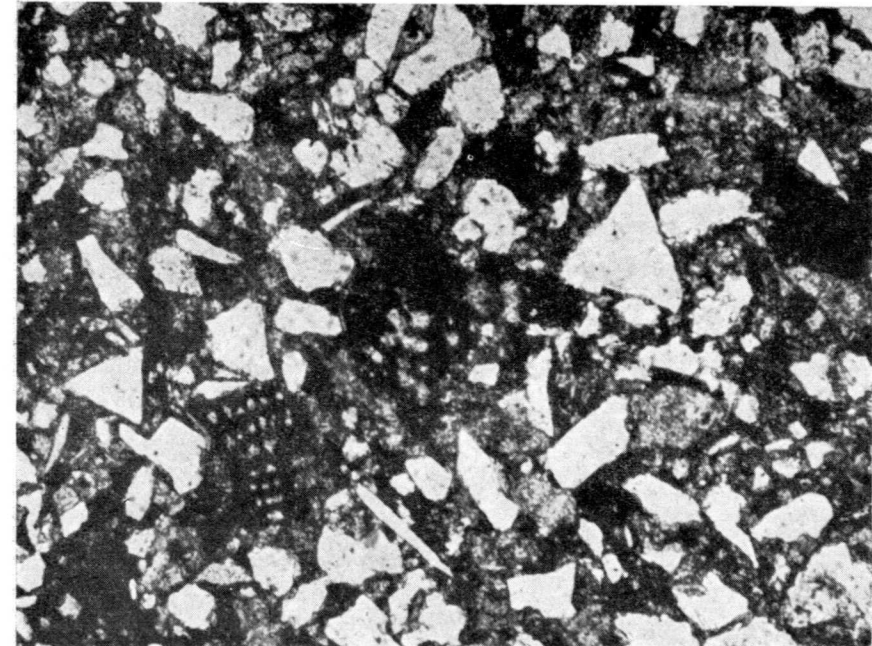
## 1. BARREMIENSE.

*Formación de las areniscas inferiores.*

Tramo B.

NE. de la Nesilla, Muestra 548.

Arenisca calcárea con cuarzo angular, micácea, fosilífera. Detalle de *Cuneolina* cf. *laurentii* Sartoni y Crescenti ( $\times 20$ ).



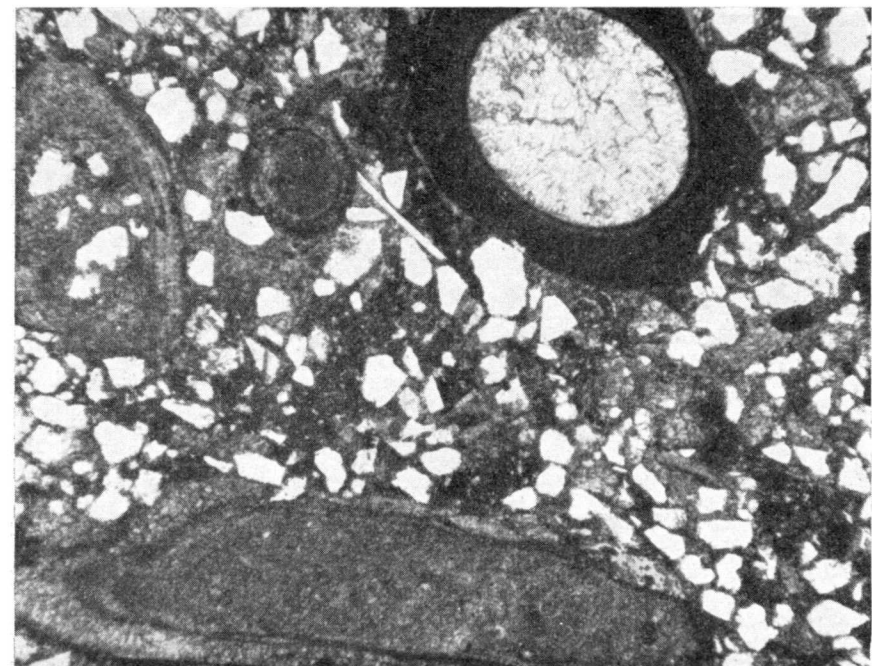
## 2. BARREMIENSE.

*Formación de las areniscas inferiores.*

Tramo B.

Mendivil, Muestra 811.

Arenisca micácea de cemento calcáreo, muy fosilífera, con Moluscos, Anélidos, Equinodermos y Foraminíferos ( $\times 48$ ).



## LÁMINA XX

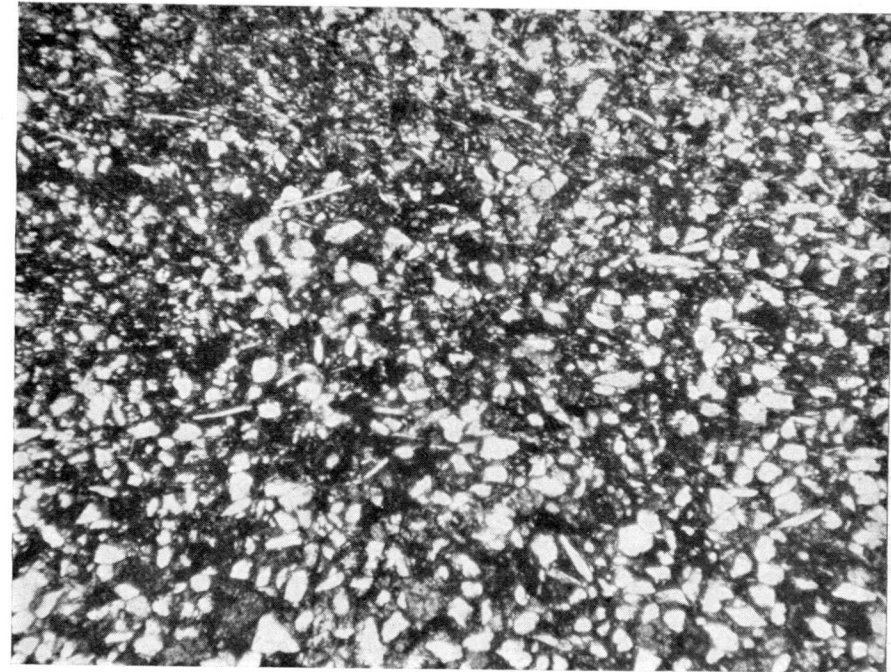
## 1. BARREMIENSE.

*Formación de las areniscas inferiores.*

Tramo C.

Mendivil, Muestra 817.

Arenisca fina, algo margosa, micácea, con Foraminíferos muy pequeños (*Ophthalmidium*, Lagénidos, Ataxophrágmidos, etc.) (× 48).



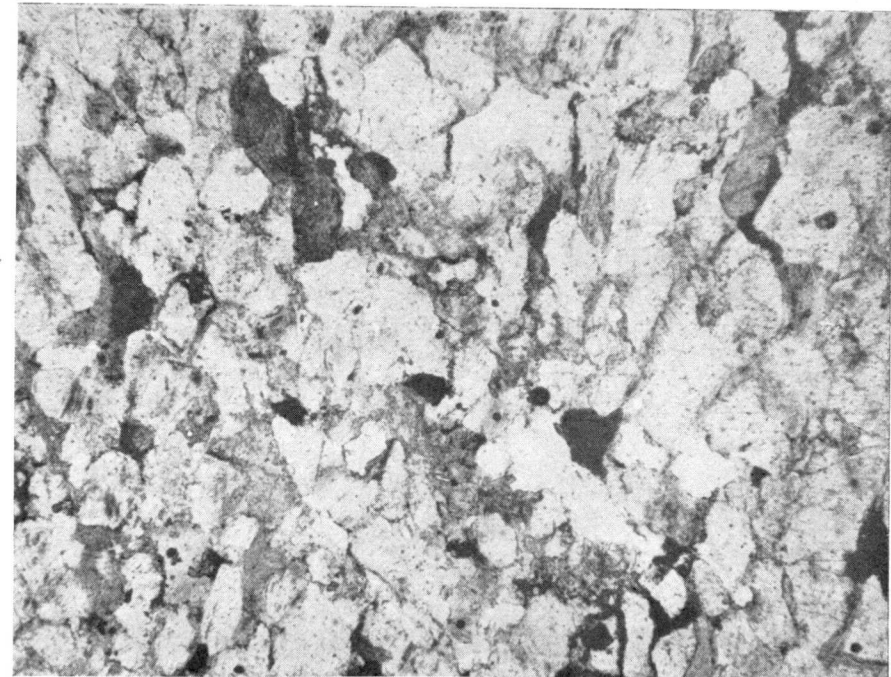
## 2. BARREMIENSE.

*Formación de las areniscas inferiores.*

Tramo C.

NE. de la Nesilla, Muestra 549.

Arenisca estéril, de grano grueso (× 48).



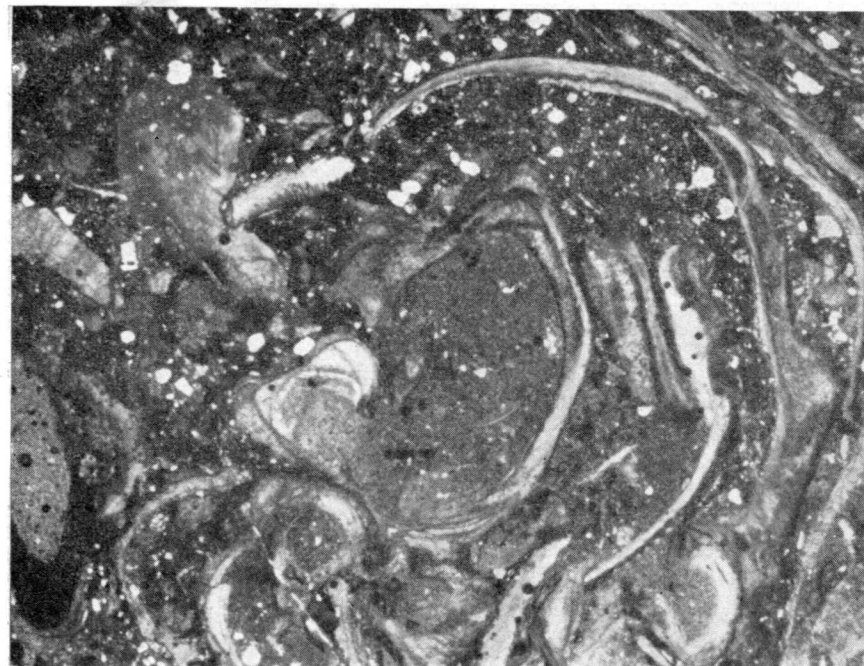
## LÁMINA XXI

## 1. BARREMIENSE SUPERIOR O APTENSE INFERIOR.

*Formación de las areniscas calcáreas fosilíferas.*

NO, de Pico Ventana, Muestra 146.

Arenisca calcárea con granos de cuarzo subangular, con Moluscos, Equinodermos, Briozoos, Textuláridos y Miliólidos ( $\times 20$ ).

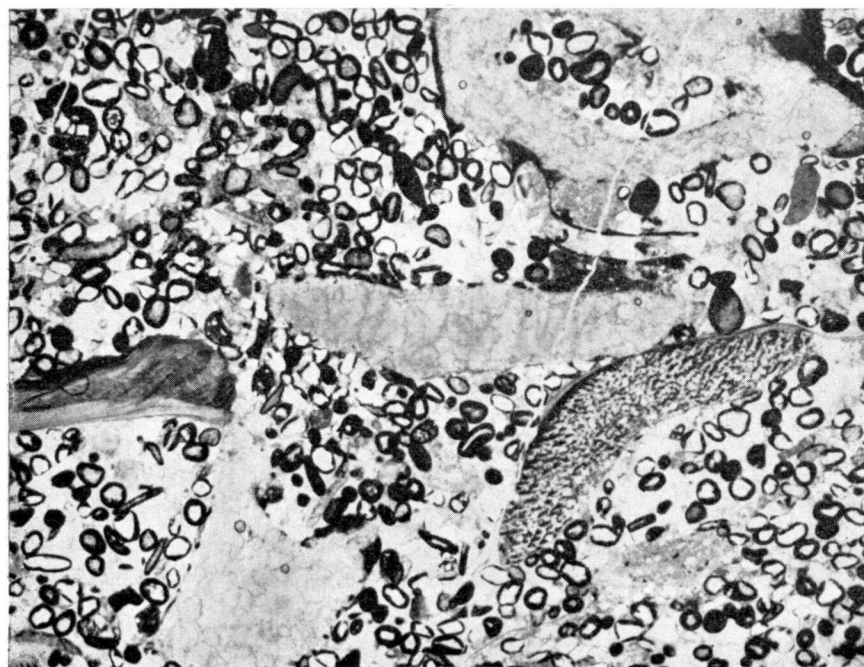


## 2. BARREMIENSE SUPERIOR O APTENSE INFERIOR.

*Formación de las areniscas calcáreas fosilíferas.*

Sur de Talledo, carretera de Mercadillo a Castro Urdiales, Muestra 625.

Arenisca calcárea, pseudo-oolítica, recristalizada, con Equinodermos, Moluscos, Orbitolinas, Lituólidos, Lagénidos y otros Foraminíferos pequeños ( $\times 15$ ).



## LÁMINA XXII

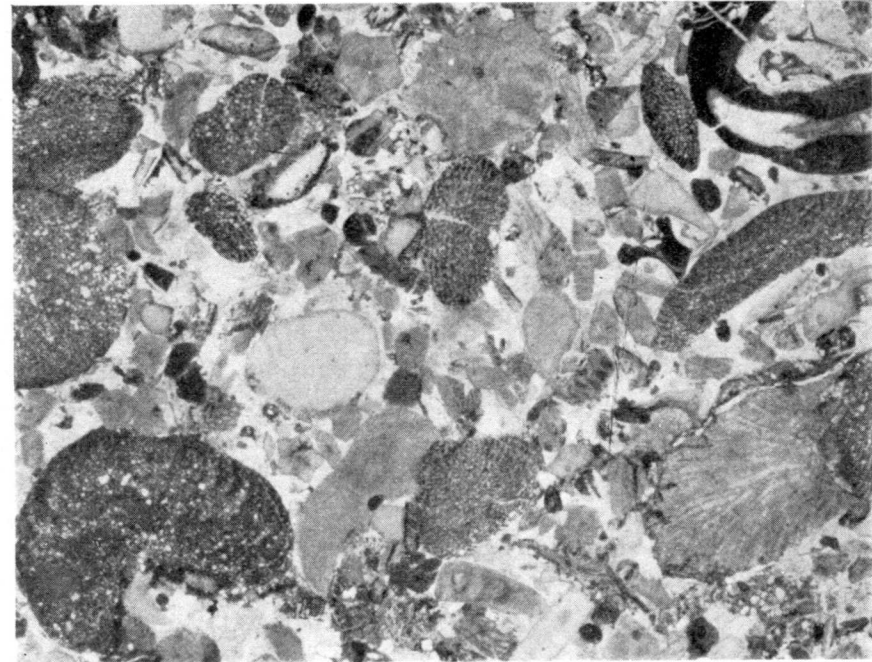
## 1. BEDOULIENSE.

*Formación de la caliza de Toucasia.*

Tramo A.

Oeste de Montellano. Muestra 631.

Biosparudita de Orbitolinas, Equinodermos, Lamelibranquios, Briozos, Textuláridos, Miliólidos y Langénidos ( $\times 10$ ).



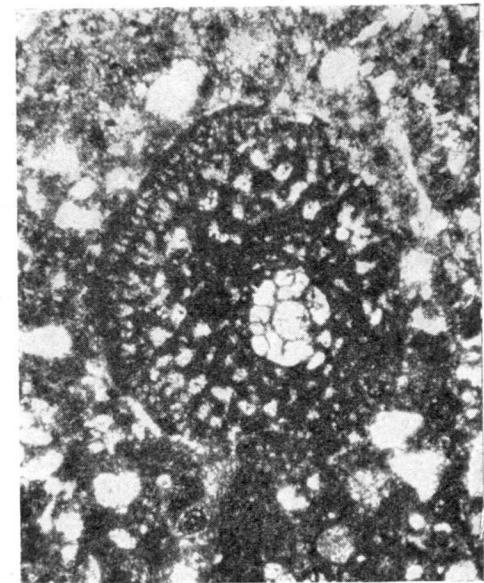
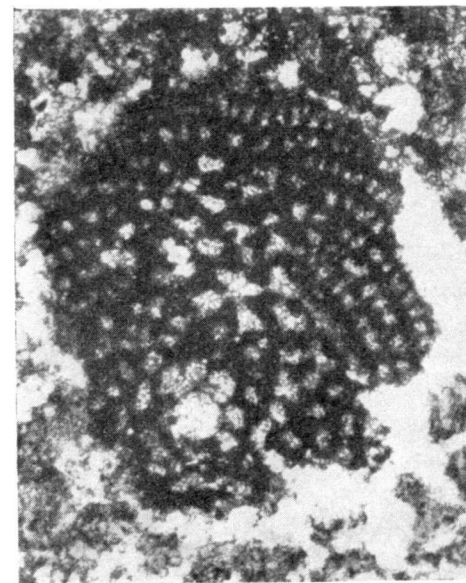
## 2. BEDOULIENSE.

*Formación de la caliza de Toucasia.*

Tramo A.

Oeste de Bilbao. Muestra 823-I.

Detalles del aparato embrional de *Orbitolina (Palorbitolina) lenticularis* (Blumenbach) ( $\times 70$  y  $\times 54$ ).





## LÁMINA XXIII

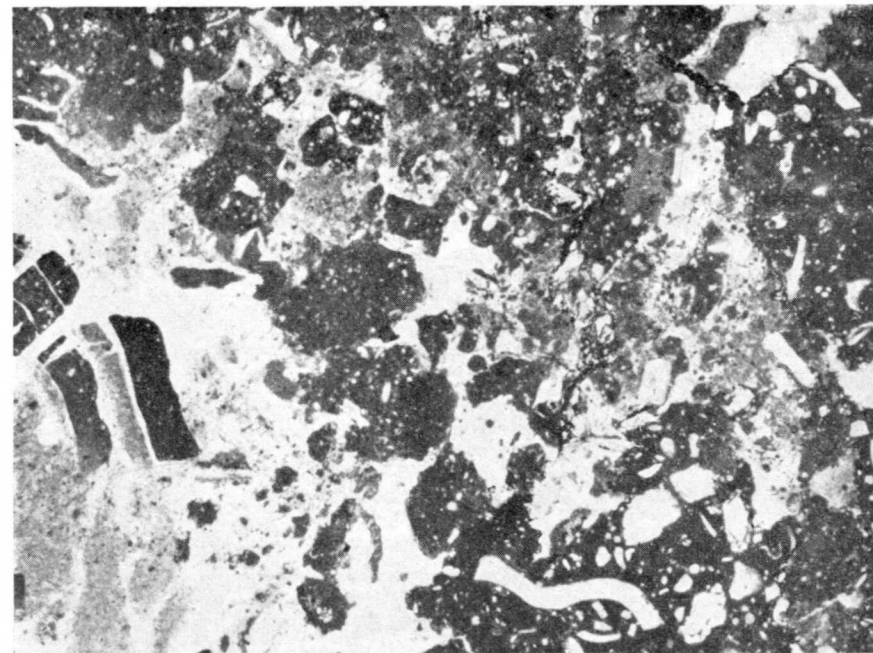
## 1. BEDOULIENSE.

*Formación de la caliza de Toucasia.*

Tramo B.

NO. de «El Castaño». Muestra 131.

Biolitita de Coralarios, Briozoos, Moluscos, Equinodermos y Ataxophrágmidos ( $\times 16$ ).



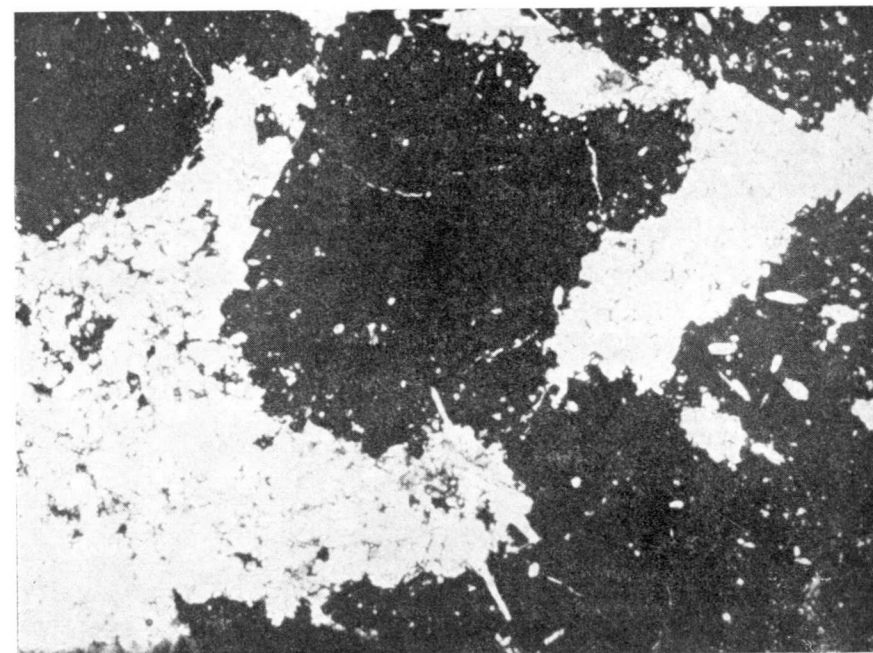
## 2. BEDOULIENSE.

*Formación de la caliza de Toucasia.*

Tramo B.

N. de Rojadillo, Mina Reveñaga. Muestra 168-II.

Carbonato de hierro ( $\times 18$ ).



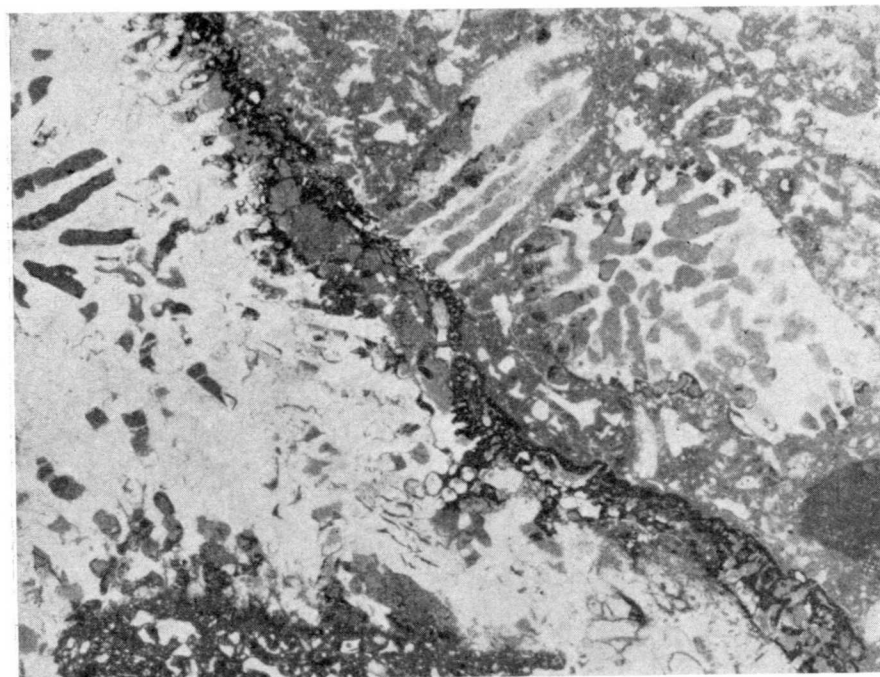
## LÁMINA XXIV

## 1. BEDOULIENSE.

*Formación de la caliza de Toucasia.*

Tramo B.

Mina Pikwick (O. de «La Arboleda») Muestra 736.  
Biolitita de Coralarios ( $\times 10$ ).

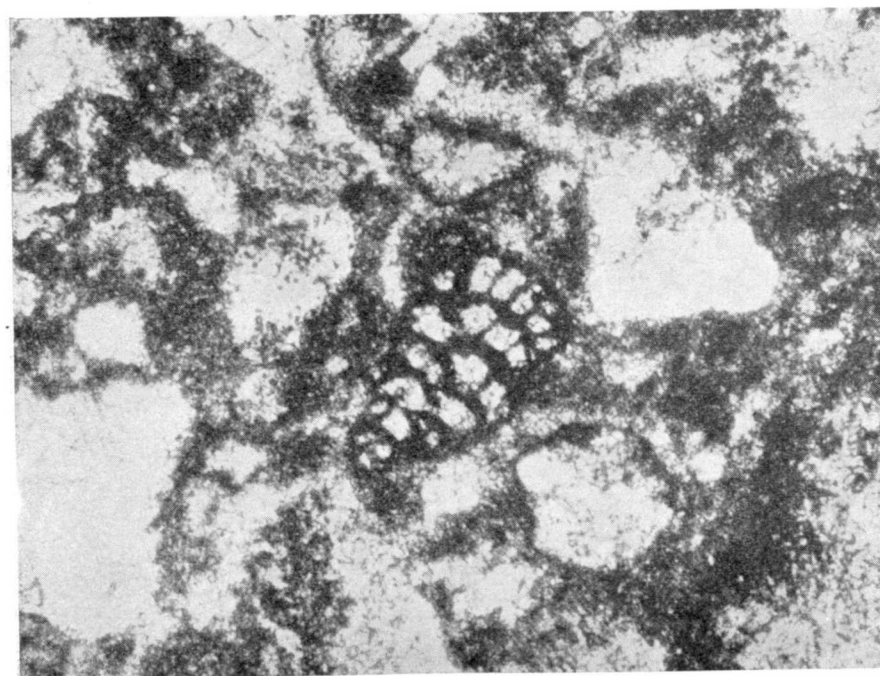


## 2. BEDOULIENSE.

*Formación de la caliza de Toucasia.*

Tramo B.

San Pedro de Galdames, Muestra 180.  
Detalle de *Cuneolina* cf. *camposaurii* Sartoni y Crescenti ( $\times 70$ ).



## LÁMINA XXV

## 1. BEDOULIENSE.

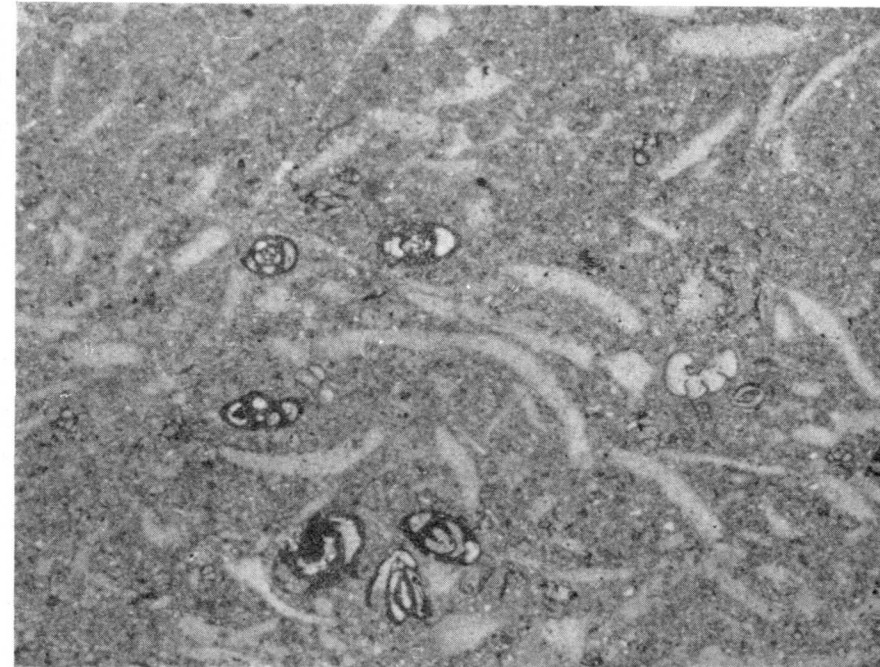
*Formación de la caliza de Toucasia.*

Tramo C.

San Pedro de Galdames. Muestra 178.

Bio-microsparudita algo arcillosa con muchos fragmentos de Moluscos, Miliólidos, Lituólidos y Cuneolina ( $\times 20$ ).

## LÁMINA XXV



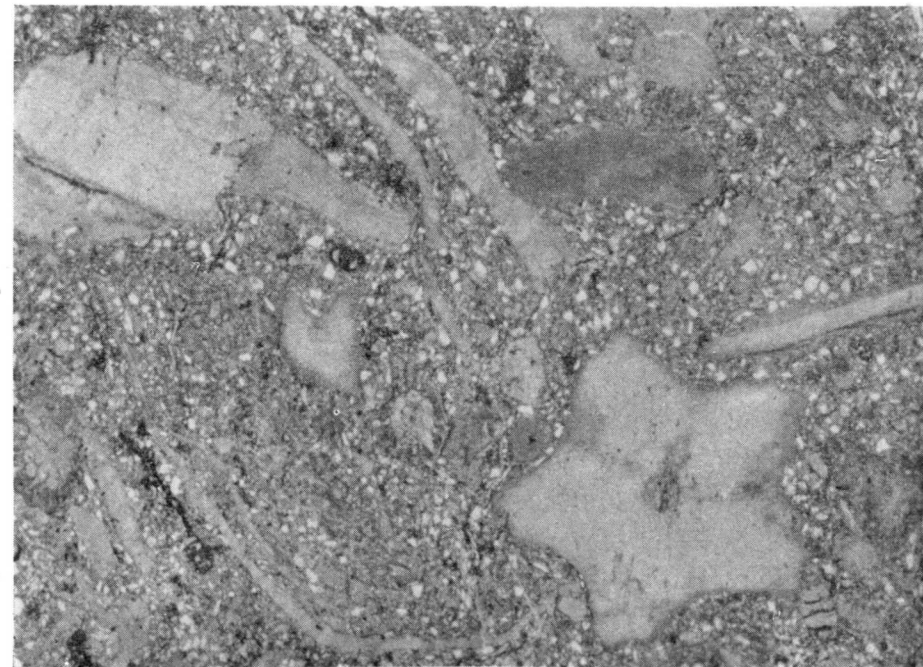
## 2. BEDOULIENSE.

*Formación de la caliza de Toucasia.*

Tramo C.

Oeste de Bilbao. Muestra 844-I.

Bio-microsparudita con abundante cuarzo detrítico. Grandes Crinoides («Entroques»), Briozoos, Moluscos, Foraminíferos ( $\times 16$ ).





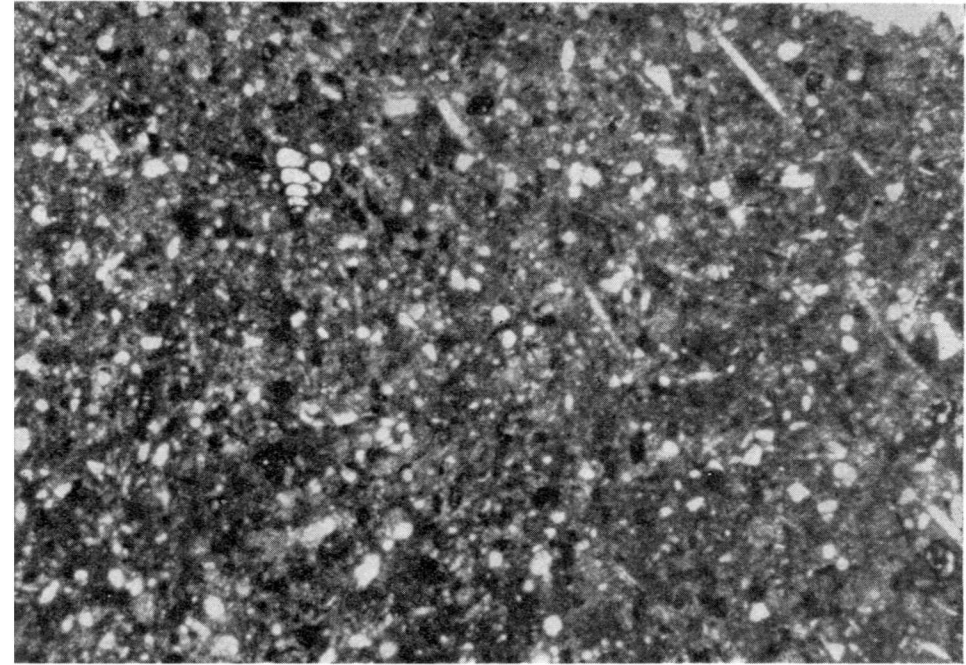
## LÁMINA XXVI

## 1. GARGASIENSE.

*Formación margo-arenosa.*

San Juan de Somorrostro, Muestra 717.

Microsparita fosilífera, detrítica, con espículas, Equinodermos y Foraminíferos ( $\times 40$ ).

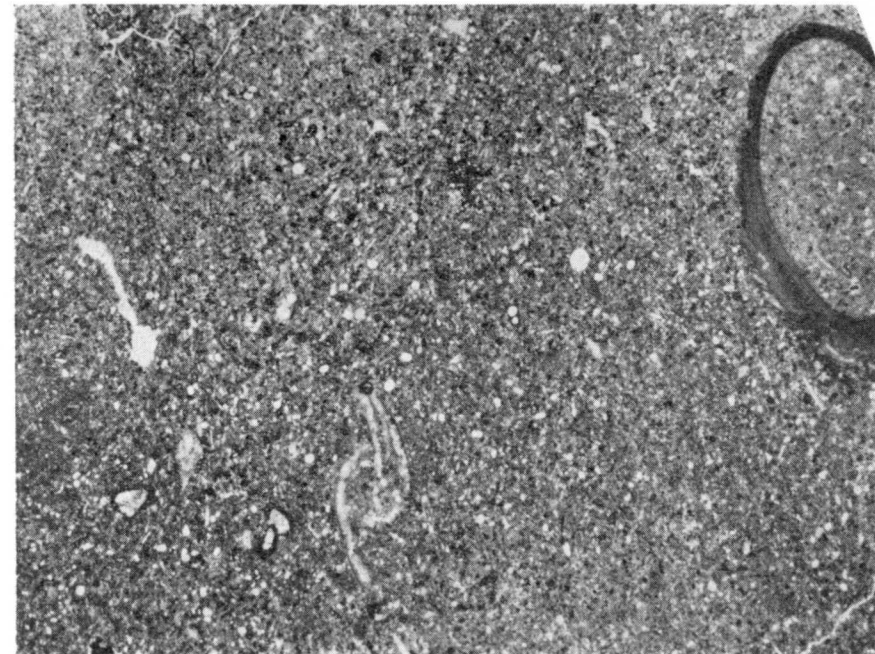


## 2. GARGASIENSE.

*Formación margo-arenosa.*

O. de Pico Moro (Ga'dames), Muestra 64.

Microsparita finamente arenosa, fosilífera, con espículas, Moluscos, Equinodermos y Foraminíferos ( $\times 16$ ).

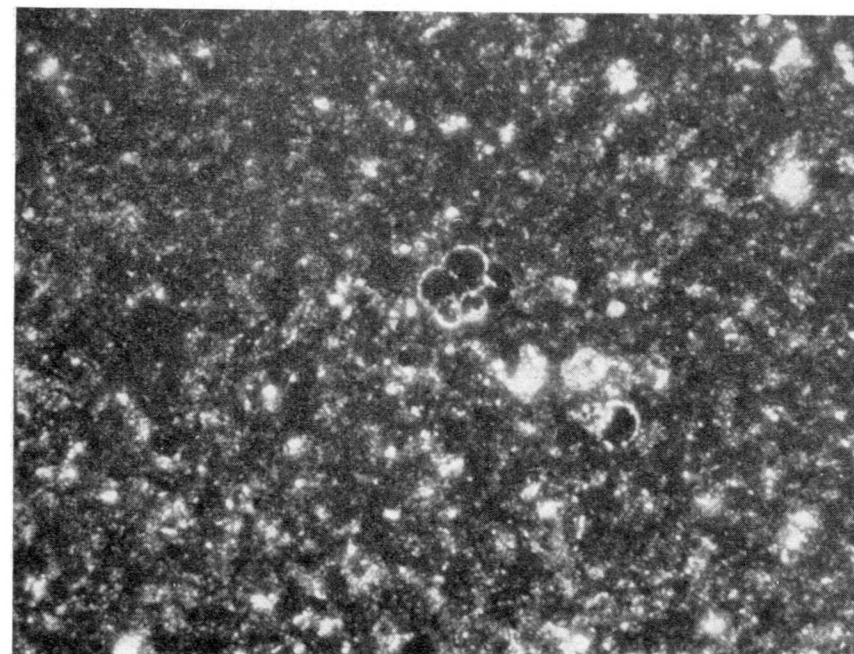


## LÁMINA XXVII

## 1 APTENSE-ALBENSE.

*Formación de las margas azuladas.*

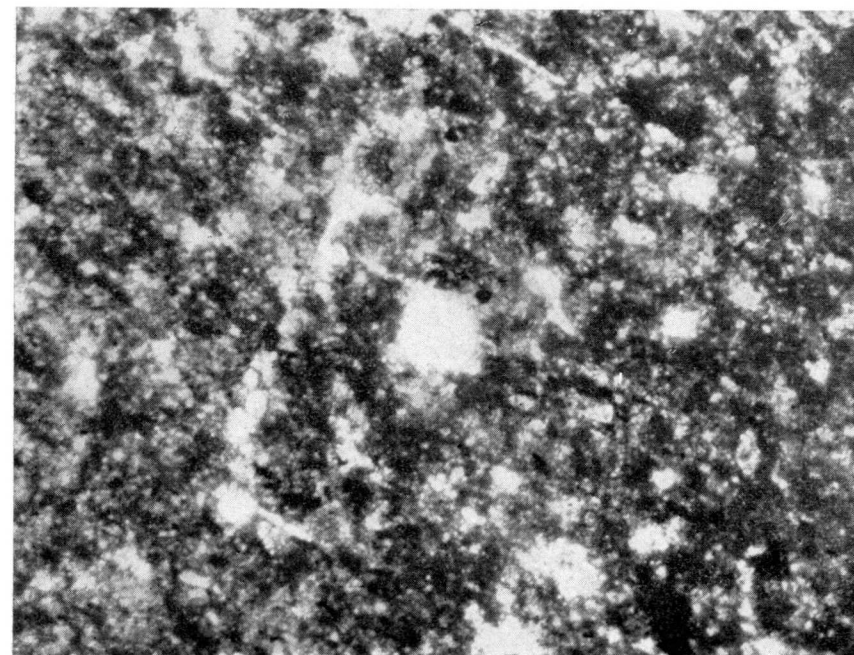
San Pedro de Galdames (N. del Alto Garay). Muestra 34.  
Marga carbonosa finamente arenosa con Rotalipóridos ( $\times 90$ ).



## 2 APTENSE-ALBENSE.

*Formación de las margas azuladas.*

S. de Portugaleta. Muestra 394.  
Marga ligeramente carbonosa y detrítica con espículas finas y Radiolarios ( $\times 108$ ).



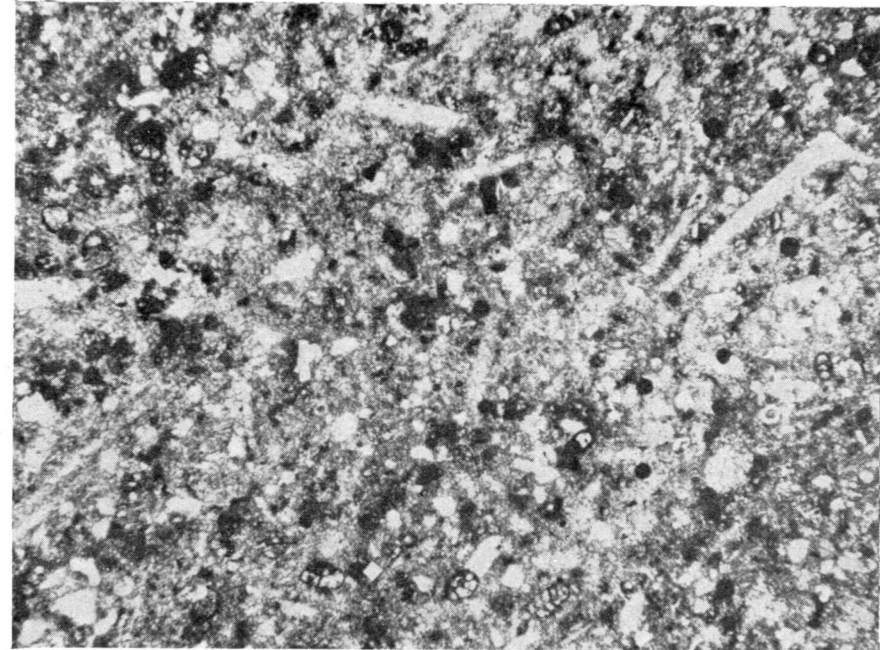
## LÁMINA XXVIII

## 1. ALBENSE.

*Formación de las margas tabulares.*

Arbotal de Ubieta, Muestra 56.

Biosparita (en parte microsparita) de espículas, con algo de cuarzo detrítico, subangular. Foraminíferos abundantes (*Textuáridos*, *Ataxophrágmidos*, *Trochamminidos*, *Cuneolina*) ( $\times 45$ ).

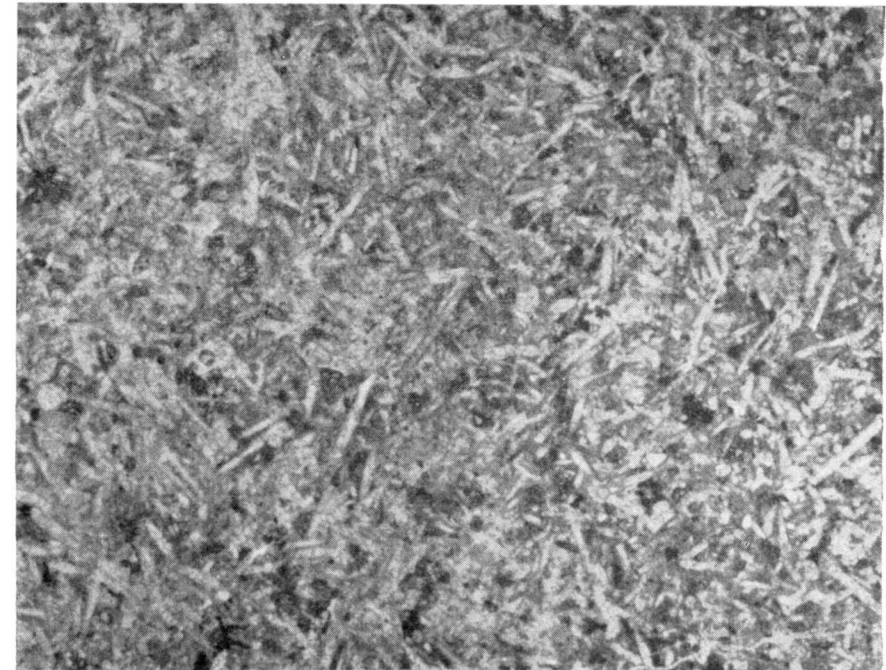


## 2. ALBENSE.

*Formación de las margas tabulares.*

Oeste de Somorrostro, Muestra 663.

Caliza algo arcillosa repleta de espículas, en parte silíceas ( $\times 15$ ).

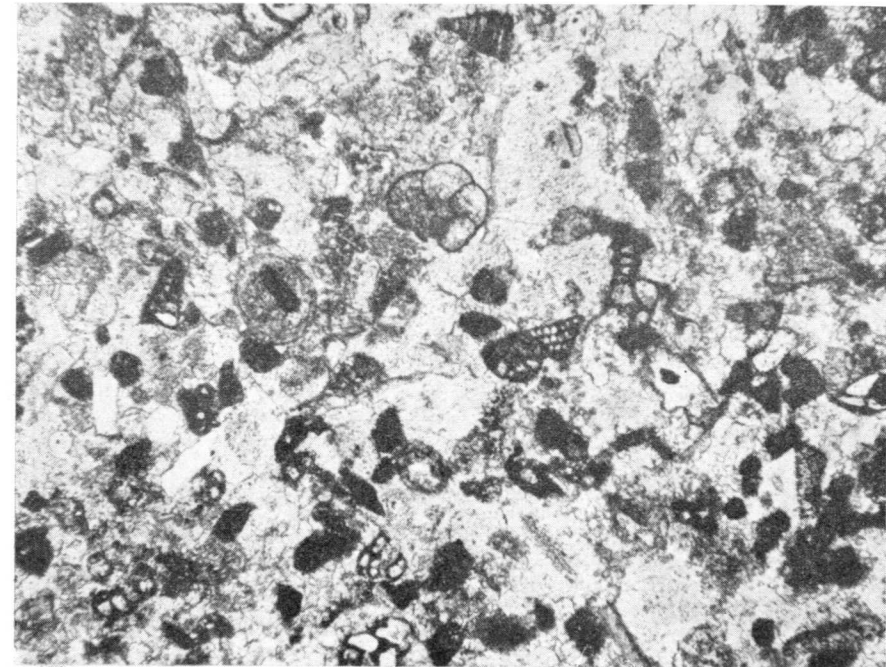


## LÁMINA XXIX

## 1. ALBENSE.

*Formación de las margas tabulares.*

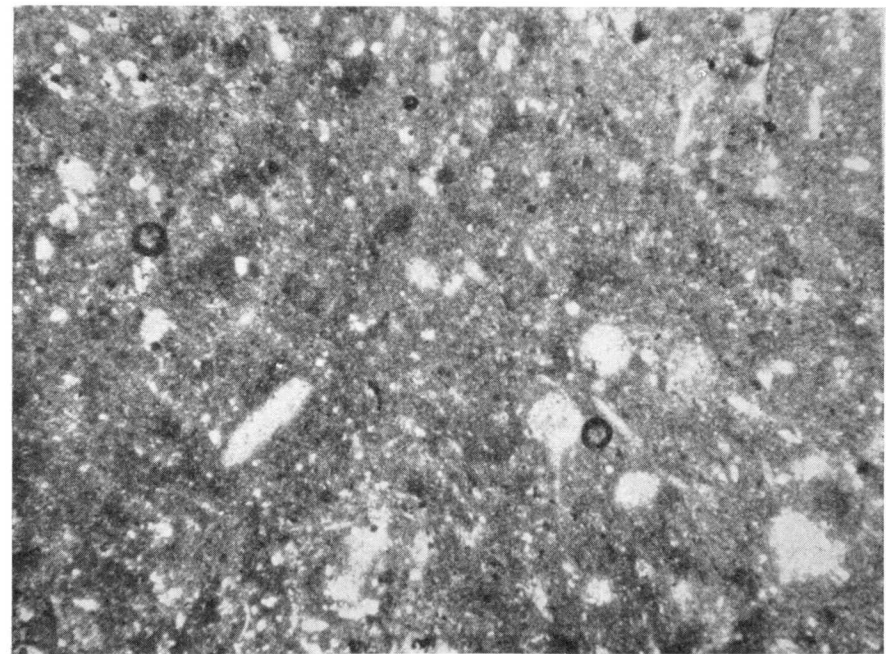
Oeste de Somorrostro. Muestra 668.  
Biosparita, parcialmente micrítica, con escasas espículas y abundantes fragmentos de Equinodermos y Foraminíferos: Textuláridos, Ataxaophrágmidos, Polymorphinidos, Ophthalmiídidos, Miliólidos pequeños, Discórbidos, *Cunecolina* y *Textulariella cf. minuta* Hofker ( $\times 40$ ).



## 2. ALBENSE.

*Formación de las margas tabulares.*

Norte de Bilbao. Muestra 416.  
Micrita detrítica con Radiolarios y escasas espículas ( $\times 40$ ).





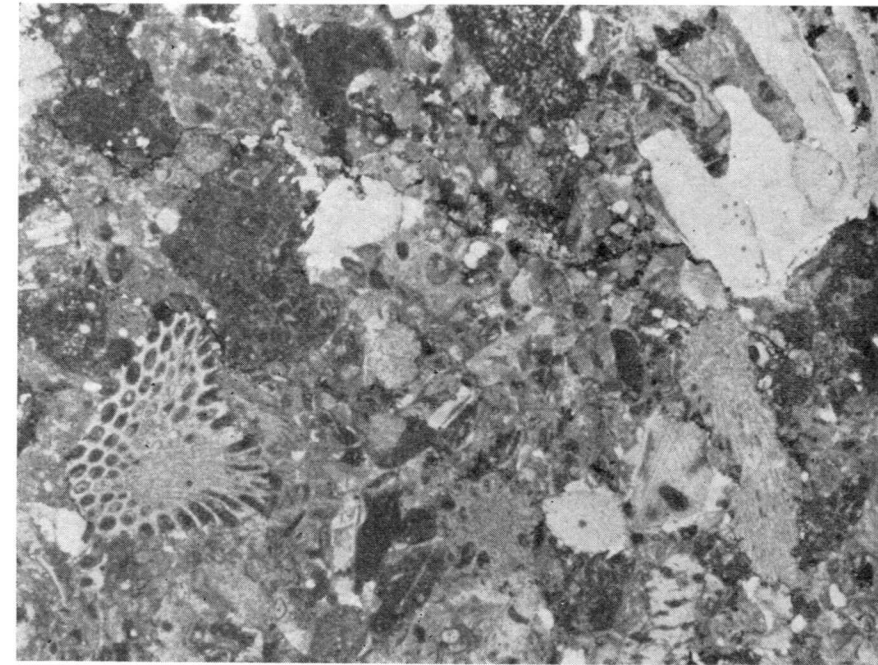
## LÁMINA XXX

## 1. ALBENSE.

*Formación de las margas tabulares.*

Oeste de Somorrostro. Muestra 800.

Intrasparudita, de aspecto microbrechoide debido a los elementos heterogéneos (*extra-clastos*) cementados entre sí. En la fotomicrografía pueden apreciarse fragmentos de Moluscos y de Briozoos, Equinodermos y alguna espícula ( $\times 18$ ).

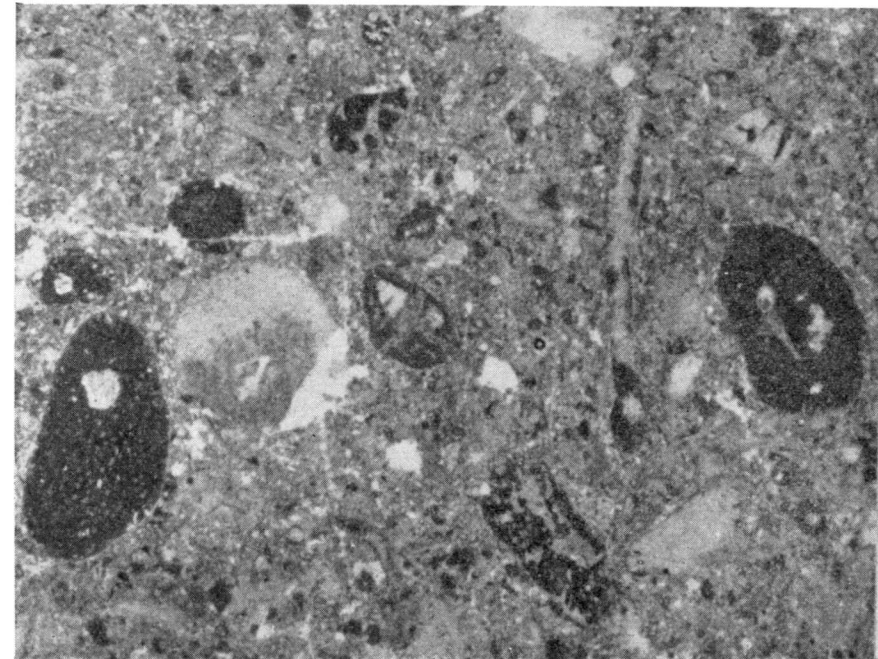


## 2. ALBENSE.

*Formación de las margas tabulares.*

Al límite entre las Hojas de Guecho y de Bilbao. Muestra 389.

Intrasparudita detritica con elementos resedimentados. Equinodermos, Moluscos, Briozoos, Orbitolinas, escasas espículas y Foraminíferos pequeños ( $\times 18$ ).



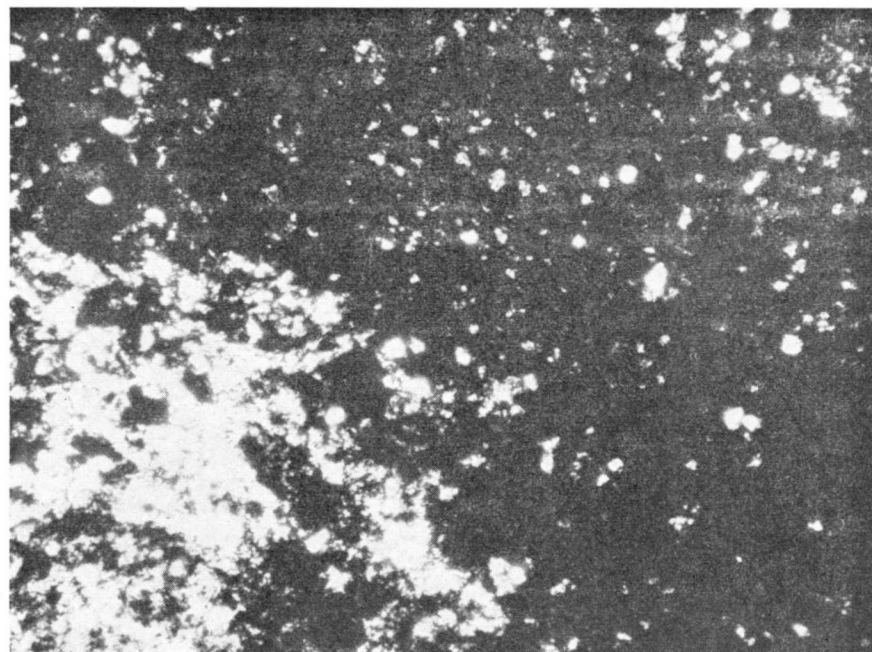
## LÁMINA XXXI

## 1. ALBENSE.

*Formación de las margas negras superiores.*

Entre Ocharán y Avellaneda, Muestra 216-I.

Marga carbonosa ligeramente micácea y arenosa ( $\times 45$ ).

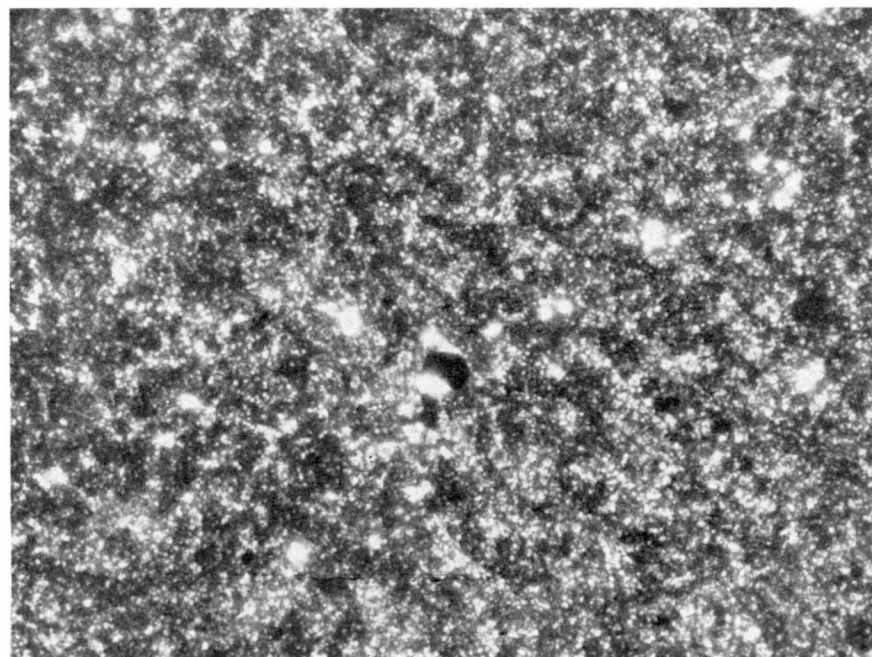


## 2. ALBENSE.

*Formación de las margas negras superiores.*

Norte de Ocharán, Muestra 216-II.

Marga más calcárea que la anterior, con escasos restos carbonosos y Foraminíferos pirritizados, entre ellos Rotalipóridos ( $\times 80$ ).



## LÁMINA XXXII

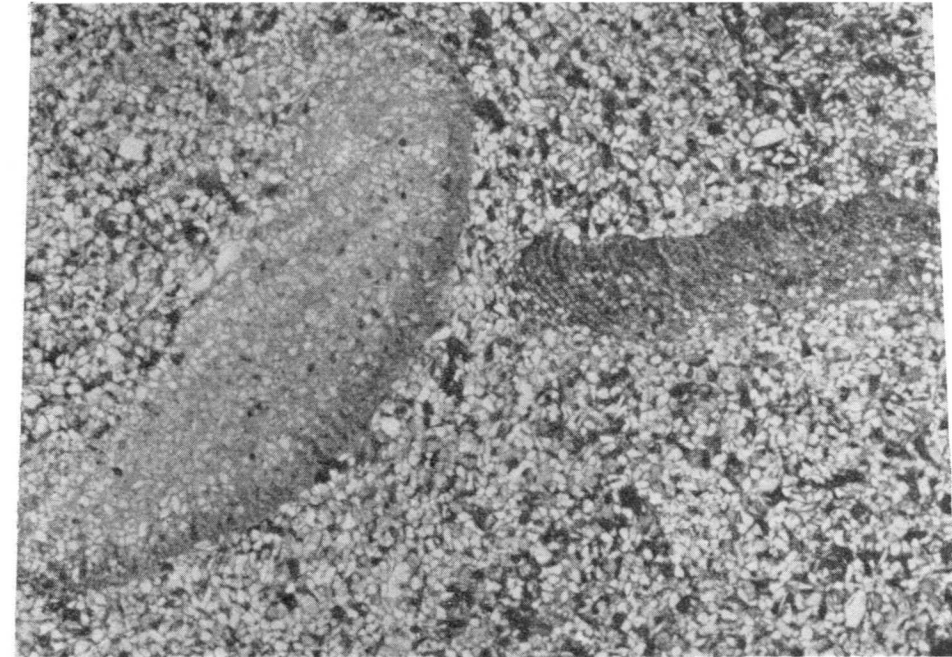
## 1. VRACONIENSE.

*Formación de las areniscas superiores*

Parte baja.

NO. de «La Herrera», Muestra 212-I.

Arenisca fina, ligeramente micácea y carbonosa, con Orbitolinas ( $\times 16$ ).



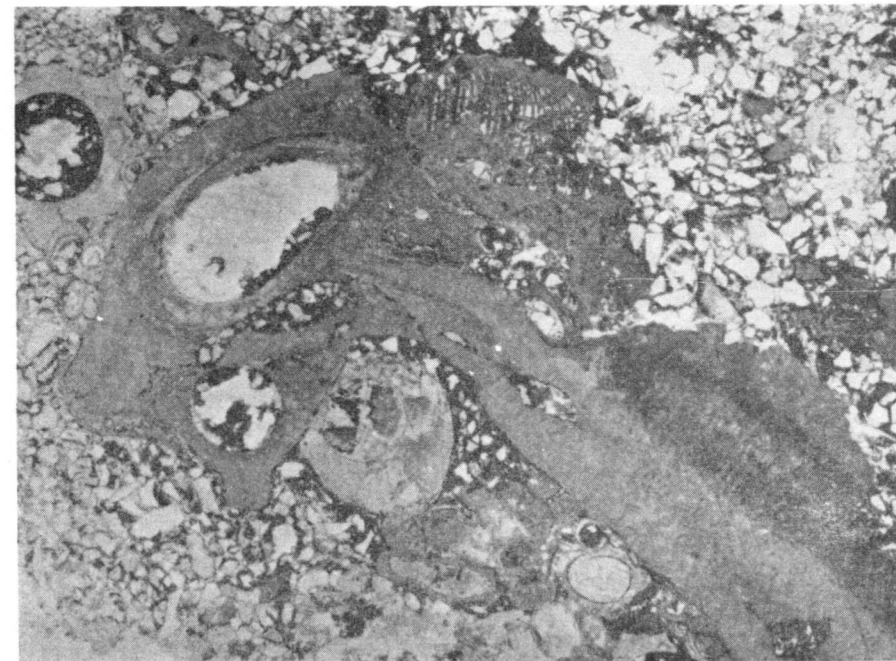
## 2. VRACONIENSE.

*Formación de las areniscas superiores.*

Parte baja.

E. de «La Herrera», Muestra 212-II.

Arenisca de grano medio, micácea, con cuarzo subangular, algo carbonosa, repleta de Briozoos en colonias ( $\times 12$ ).





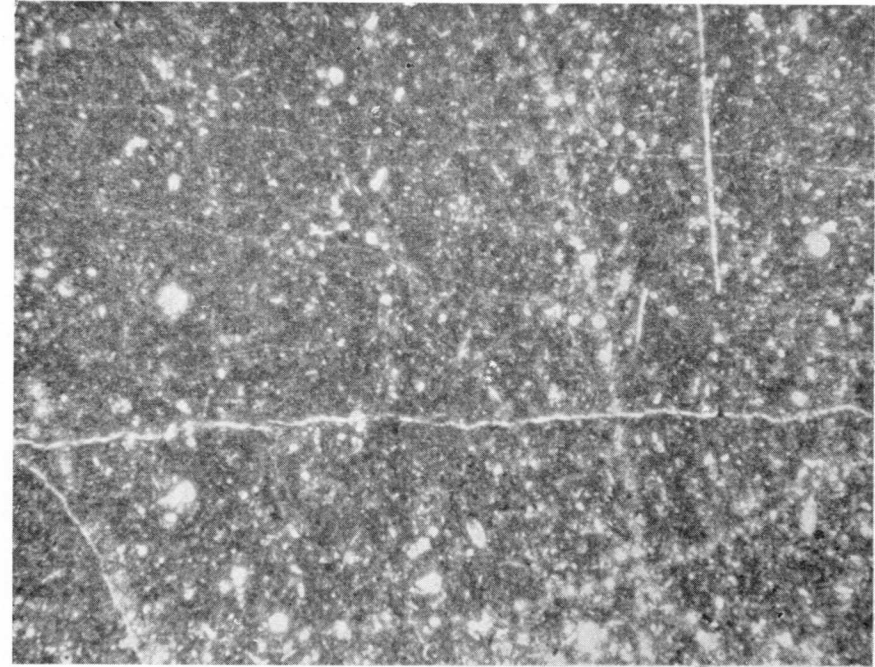
## LÁMINA XXXIII

## 1. TURONENSE.

Durango. Muestra 345-A-11.

Micros parita con espículas muy finas, Radiolarios, Rotalipóridos, *Heterohelix*, *Pithonella* ( $\times 47$ ).

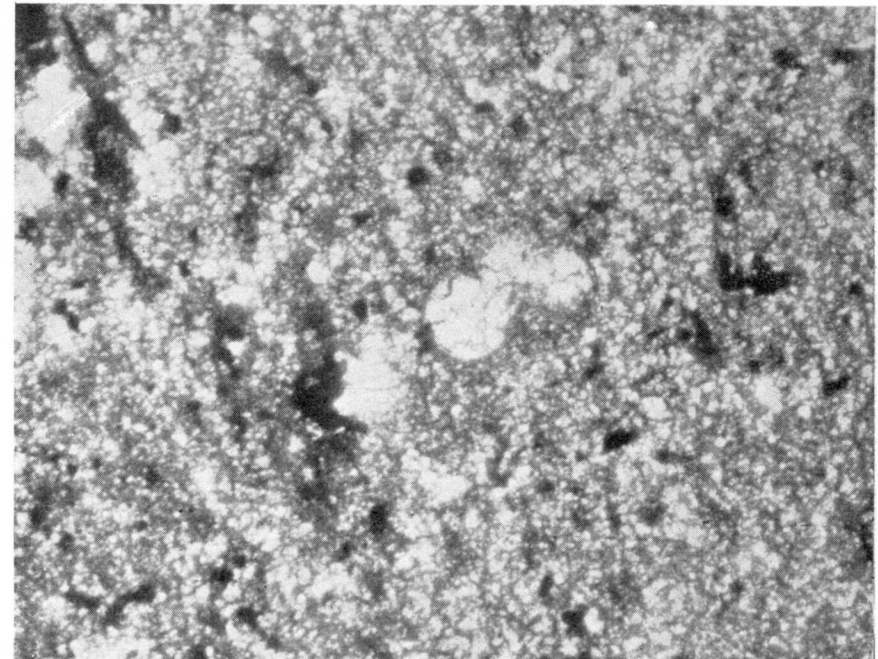
## LÁMINA XXXIII



## 2. TURONENSE.

San Martín de Zamudio (Bilbao). Muestra 409.

Micros parita algo detritica y carbonosa, con una sección de *Hedbergella* ( $\times 70$ ).



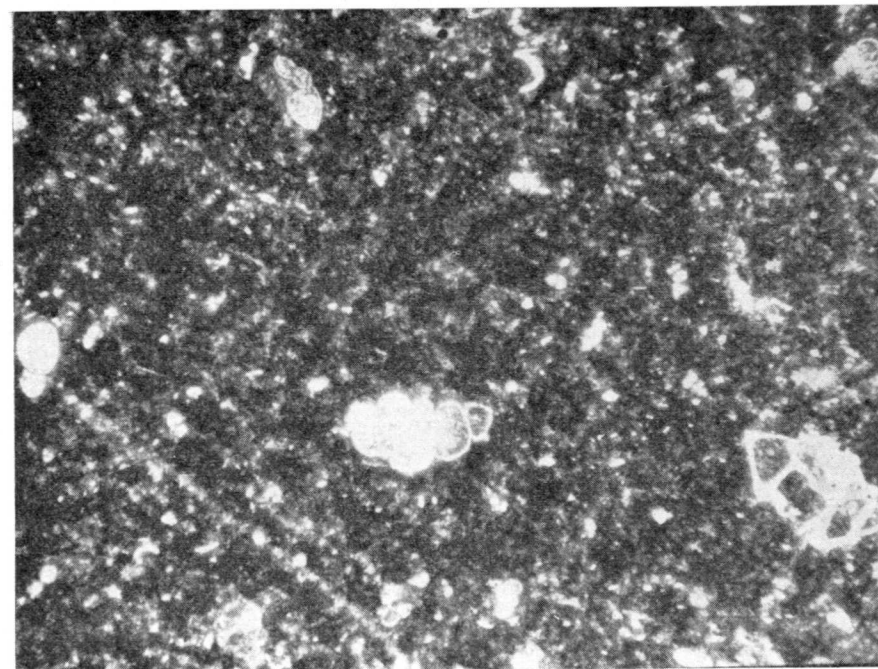
## LÁMINA XXXIV

## 1. CAMPANIENSE (?).

Guecho, Muestra 349-IV.

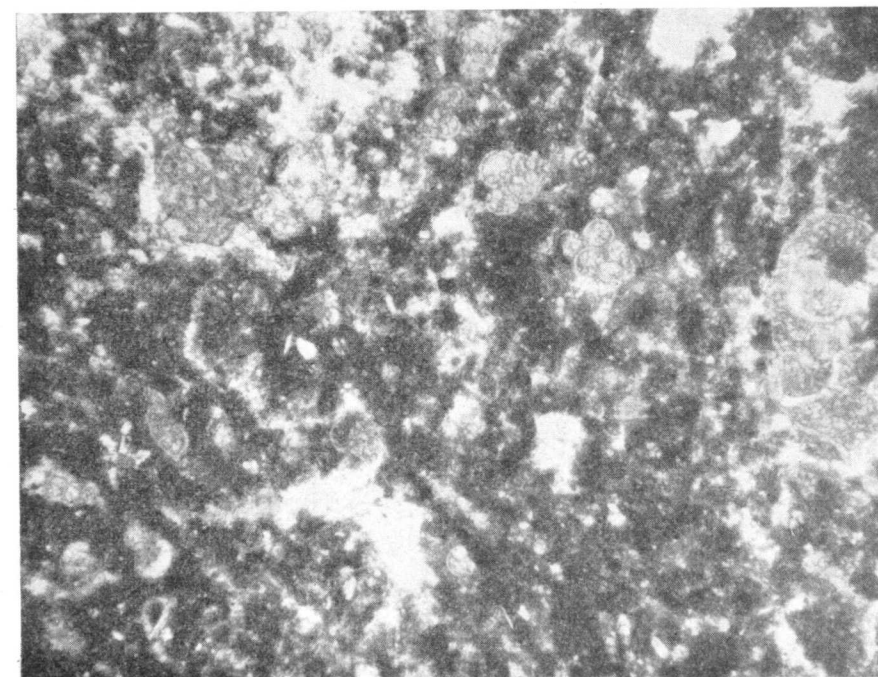
Marga algo detrítica, con *Globotruncana* (× 47).

## LÁMINA XXXIV



## 2. MAESTRICHTIENSE.

Guecho, Muestra 349-II.

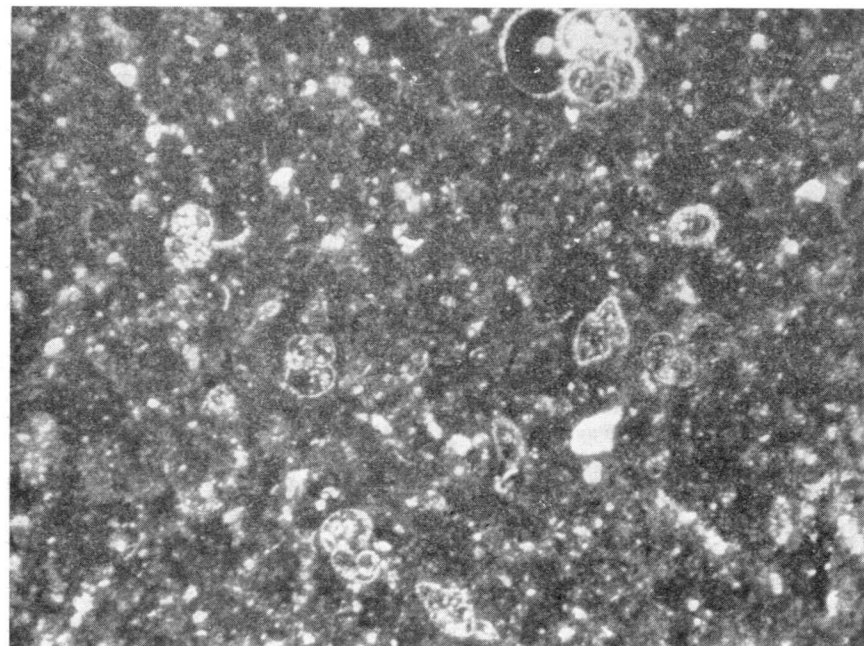
Marga algo detrítica con *Globotruncana plicata* White, *Heterohelix globulosa* (Ehrenberg), etcétera (× 47).

## LÁMINA XXXV

## 1. PALEOCENO.

Guecho, Muestra 351.

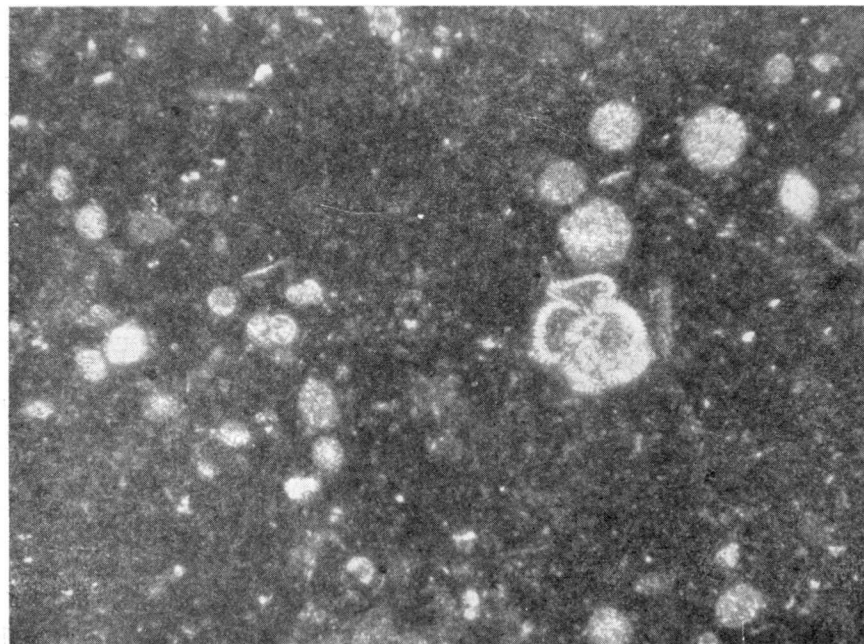
Marga bastante calcárea con grandes Globigerinas (entre ellas *Globigerina linaperta* Finlay) y alguna *Globorotalia* (cf. *aequa* Cushman y Renz ( $\times 47$ )).



## 2. PALEOCENO O EOCENO INFERIOR.

Durango, Muestra 346-I.

Micrita algo detrítica con Radiolarios, Globigerinas y *Globorotalia quetra* Boh. ( $\times 47$ ).



## BIBLIOGRAFÍA

- ADÁN DE YARZA, R.: *Descripción física y geológica de la provincia de Vizcaya*, «Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España», 193 págs., 18 figs., 1 mapa geológico, 1 : 400,000, 1892.
- ALMELA, A.; RÍOS, J. M., y GARRIDO, J.: *Un estudio de parte de las provincias de Burgos, Alava, Vizcaya y Santander*, «Boi. del Instituto Geol. y Minero de España», t. 58, páginas 45-228, 42 figs., 2 planos, 1 mapa a 1 : 100,000, 1945.
- PIGNOT, G., y LEZAUD, L.: *Contribution a l'étude des Pithonella de la craie parisienne*, «Revue de Micropaleont.», Vol. 7, núm. 2, págs. 138-152, París, 1964.
- BORSETTI, A. M.: *Foraminiferi planctonici di una serie cretacea del dintorni di Piobbico*, «Giornale Geologia, Ann. Mus. Geol. Bologna», serie 2.<sup>a</sup>, Vol. XXIX, 1960-61, Bologna, 1962.
- CAREZ, L.: *Etude des terrains crétacé et tertiaires du Nord de l'Espagne*, «These Fac. Sciences», 227 págs., París, 1881.
- CARY, R.: *Etude géologique d'une partie des provinces de Burgos, Palencia, León et Santander*, «Soc. Hist. Nat.», t. 74, Toulouse, 1940.
- CITA, M. B.: *The Cretaceous-Eocene boundary in Italy*, «Proc. IV World Petr. Congr.», sect. 1<sup>d</sup>, rep. 2, págs. 427-452, Roma, 1955.
- CLOUD, F. E.: *Facies relationships of organic reefs*, «A. A. P. G., Bull.», núm. 11, vol. 36, página 2125, Tulsa, Oklahoma, 1952.
- COLLETT, C.: *Reconocimiento geológico del Señorío de Vizcaya, hecho de orden de la Diputación general*, En: «L'Archiv. A.: Histoire des progrès de la Géologie», 1850-1860, París, 1884.
- COMITE DES TECHNICIENS, etc.: *Essai de nomenclature des roches sédimentaires*, Ed. Technip, París, 1961.
- CUMINGS, E. R.: *Reef or bioherms?* «Bull. Geol. Soc. America», núm. 1, vol. 43, pág. 331, 1932.
- CUMINGS, E. R., y SHROCK, R. R.: *Niagaran coral reefs of Indiana and adjacent states and their stratigraphic relations*, «Bull. Geol. Soc. America», núm. 2, vol. 39, pág. 579, 1928.
- CUVILLER, J., y SACAL, V.: *Corrélations stratigraphiques par microfacies en Aquitaine occidentale*, Brill, Leiden, y 1961 (en inglés), 1951.
- DALBIEZ, F.: *Cuneolina hensoni, a new lowermost Cretaceous marker in southwestern France*, «Micropaleontology», vol. 4, núm. 1, págs. 97-101, láminas 1-2, New York, 1958.
- DENOVO, P., y colaboradores: *Diccionario de Geología y Ciencias afines*, Editorial Labor, Sociedad Anónima, Barcelona, 1957.
- FEUILLEE, P., y RAT, P.: *Los Foraminíferos del «flysch de bolas» (Cenomanense superior) entre Espinosa y Alsasua (España)*, «Notas y Com. Inst. Geol. y Min. de España», I trim., número 69, págs. 251-254, Madrid, 1963.
- GIANDOLFI, R.: *Ricerche micropaleontologiche e stratigrafiche sulla scaglia e sul flysch cretacini*, «Rev. Italiana Paleont.», XLVIII, Mem. IV, Milano, 1942.
- HENSON, F. R. S.: *Cretaceous and Tertiary reef formations and associated sediments in Middle East*, «A. A. P. G., Bull.», núm. 2, vol. 34, pág. 215, Tulsa, Oklahoma, 1950.
- JORGE, E.: *Conferencia en «Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería» (8 de julio), 1935*.
- — — *Accidentes tectónicos en Sopuerta*, «Notas y Com. del Inst. Geol. y Min. de España», número 9.
- KARRENBERG, H.: *La evolución postcarística de la cordillera cántabro astúrica*, «Publicaciones extranjeras del C. S. I. C.», vol. III, Traducción de J. G. Larena, del original alemán, de 1934, 1946.

- LAMARE, P.: *Sur la stratigraphie du Crétacé des Pyrénées navarraises*, «B. S. G. F.», 4 ser., T. 28, págs. 93-98, 1928.
- — — *Les éléments structuraux des Pyrénées basques d'Espagne. Essai de synthèse tectonique*, «B. S. G. F.», 5 ser., t. 1, págs. 95-130, 1931.
- — — *Recherches géologiques dans les Pyrénées basques d'Espagne*, «Mém. S. G. F.», m. s., t. XII, m. 27, 465 págs., 305 figs., 7 pl., 1 mapa geológico, 1936.
- — — *La structure géologique des Pyrénées basques*, «Actas del Primer Congreso Internacional de pireneístas del Instituto de Estudio Pirenaicos», 44 págs., 1 mapa estructural, San Sebastián, 1950, t.
- LEIGHTON, M. W., y PENDEXTER, C.: *Carbonate Rock Types*, «A. A. P. G., Memoir 1, Classification of carbonate rocks», pág. 33, Tulsa, Oklahoma, 1962.
- LINK, T. A.: *Theory of transgressive and regressive reef (biogerm) development and origin of oil*, «A. A. P. G.», vol. 34, núm. 2, pág. 263, Tulsa, Oklahoma, 1950.
- LOBBLICH, A., y TADPAK, H.: *Cretaceous planktonic Foraminifera: Part. 1, Cenomanian*, «Micropaleontology», vol. 7, núm. 3, págs. 257-304, New York, 1961.
- — — *Protista. 2. Vol. 1.2, Sarcodina chiefly «Thecamoebians» and Foraminiferida*, En: *Treatise on Invertebrate Paleontology*, by R. C. Moore, «Part. C, Geol. Soc. Am. and Univ. Kansas Press», 1964.
- LOTZE, F.: Mapa inédito, escala 1 : 200,000, Compañía Petrolífera Ibérica, S. A.
- LOWENSTAM, H. A.: *Niagaran reefs of the Great Lakes area*, «Journ. Geology», vol. 58, número 4, pág. 430, 1950.
- LUTERPACHER, H. P., y PREMOLI SILVA, I.: *Biostratigrafía del límite Cretáceo-Terciario nell'Appennino Centrale*, «Riv. It. Paleont. Strat.», V, XX, núm. 1, págs. 67-128, Milano, 1964.
- NELSON, H. P.: *Deposition and alteration of the Edwards formation in central Texas*, «Univ. Texas Bull.», 5, 1905, pág. 21, 1959.
- NELSON, F., BROWN, C. WML., y BRINEMAN, J. H.: *Skeletal limestone classification*, «A. A. P. G.», Memoir 1, Classification of Carbonate rocks, pág. 224, Tulsa, Oklahoma, 1962.
- PIVERAT, J.: *Traité de Paléontologie*, Masson y C. París, 1952.
- RAT, P.: *Les pays crétacés basco-cantabriques*, «Publications de l'Université de Dijon», XVIII, 1959.
- RÍOS, J. M.: *Estudios geológicos de la zona de criaderos de hierro de Vizcaya y Santander*, Dirección Gral. de Minas y Combustibles, «Temas Profesionales», núm. 9, Madrid, 1948.
- ROTACHE, R. M.: *Minas de Bilbao*, «XIV Congreso Geológico Internacional», Madrid, 1926.
- ROTHPLIEZ, A.: *Ein geologischer Querschnitt durch die Ost-Alpen nebst Anhang, über die sogenannten Glaber Doppel-Faute*, Stuttgart, 1894.
- SÁENZ GARCÍA, C.: *Notas acerca de la estratigrafía de la parte occidental del país vasco y NE. de la provincia de Burgos*, «Las Ciencias», t. 5, págs. 53-67.
- SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, M.: *Las erupciones y las rocas volcánicas de las Vascongadas*, «Munibe», fascículos 2-3, 1952.
- SARTORI, S., y CRESCENTI, U.: *Ricerche biostratigrafiche nel Mesozoico dell'Appennino meridionale*, «Giornale di Geologia, Ann. Mus. Geol. Bologna», Serie 2.<sup>a</sup>, vol. XXIX, 1960-61, Bologna, 1962.
- SCHROEDER, R.: *Orbitolina des Cenomans Südwesteuropas*, «Paläont. Zeitschr.», 36, 3/4, páginas 171-202, Stuttgart, 1962.
- — — *Palorbitolina, ein neues Subgenus der Gattung Orbitolina*, «N. Jb. Geol. Paläont. Abh.», 117, págs. 346-359, Stuttgart, 1963 a.
- — — *Grundlagen einer Orbitoliniden Biostratigraphie des tieferen Urgons im pyrenaisch-Kantabrischen Grenzgebiet (Nordspanien)*, «N. Jb. Geol. Paläont. Mh.», 6, págs. 320-326, Stuttgart, 1963 b.
- URRUTIA, J. M.: *Estudio I. Industrial del Criadero de Hierro de Vizcaya*, «Boletín Minero e Industrial», Bilbao, enero, 1948.

- URRUTIA, R.: *Estudio Geológico Estratigráfico acerca de los cráteres de Fe de los valles de Sopena y Galdames*, «Revista Minera», Madrid, mayo, 1919.
- VALLE DE LERSUNDI, A.: *Estudios previos necesarios para emprender el reconocimiento en profundidad de las zonas con mineral de hierro de Vizcaya*, «Notas y Comunicaciones», número 20, 1943.
- VAN HINTE VON, J. E.: *Zur stratigraphie und microfläontologie des Oberkreide und des Krappfeldes (Kärnten)*, «Jahrb. der Geol. Bundesanstalt», Sonderband 8, Wien, 1963.
- VERNEUIL, E.: *Del terreno Cretáceo en España*, «Revista Minera», t. III, Madrid, 1852.
- VERNEUIL, E., y COLLOMB, E.: *Coup d'oeil sur la constitution géologique de quelques provinces de l'Espagne*, «B. S. G. F.», 2.<sup>a</sup> serie, t. X, Paris, 1852.
- VERNEUIL, E., COLLOMB, E., y TRUBER: *Note sur une partie du Pays basque espagnol*, «B. S. G. F.», 2.<sup>a</sup> serie, t. XVII, págs. 333-372, Paris, 1860.
- ZITTEL, K.: *Traité de Paléontologie*, «Octave Deun Ed.», Paris, «Oldenburg Ed.», Munich, y Leipzig, 1883.
- YOUNG, K.: *Edwards limestone fossils as dept indicators*, «Symposium on Edwards limestone in central Texas, Univ. Texas Bull.», 5,905, pág. 97, 1959.

J. SIERRA LOPEZ, A. ORTIZ RAMOS y J. BURKHALTER ANEL

## ORIGEN DE ALGUNAS MINERALIZACIONES DE FLUORITA Y GALENA DE LA SIERRA DE GADOR, EN RELACION CON LA SINGENESIS Y LA EPIGENESIS

### IMPORTANCIA PARA SU INVESTIGACION MINERA

#### RESUMEN

Se describen brevemente las mineralizaciones estratiformes de fluorita y galena en el Muschelkalk calizodo'omítico de la Sierra de Gádor (Almería), objeto de un vasto plan de Investigación minera por la E. N. Adaro.

Tras una revisión de los conceptos de singenetismo y epigenetismo, de sus variantes, y de la importancia de la diagénesis y el metamorfismo, se analizan diversos fenómenos concurrentes en las zonas en estudio, tales como:

- 1) Superposición de dos estilos tectónicos: uno de fallas inversas asociado con cabalgamientos y pliegues volcados, y otro, de bloques.
- 2) Manifestaciones de rocas ígneas.
- 3) Zonalidades meta'ogénicas.
- 4) Caracteres petrográficos, petroquímicos y sedimentológicos de las rocas en las que encajan algunas mineralizaciones, y relación de éstas con zonas dolomíticas, arcillosas y sílicas.
- 5) Contexturas y tránsitos mutuos, de las mineralizaciones listada y brecoide: paragenesis y sucesión.

Se concluye sobre el origen todavía dudoso de estas mineralizaciones, los medios para esclarecerlo y su importancia en el desarrollo de las técnicas de prospección.

#### 1. INTRODUCCIÓN

La Sierra de Gádor es un macizo montañoso situado al SO. de la provincia de Almería, con una longitud de unos 45 kilómetros en dirección Este-Oeste, y una anchura de unos 20 kilómetros en dirección Norte-Sur. Su delimitación geográfica es muy neta: efectivamente, al Norte la separa de Sierra Nevada la depresión de Ugíjar y la zona de fractura por la que discurre el río Andarax. Este mismo río al Este, y ya con dirección N.-S., la separa del conjunto de Sierra Alhamilla: el límite Sur está constituido por una gran zona de aporte torrencial y, finalmente, el límite Oeste lo constituye el río Grande de Adra, también con dirección Norte-Sur.

Existen razones para suponer que las riquezas minerales de la Sierra de Gádor son conocidas desde muy antiguo y que fenicios, romanos y árabes las explotaron en su tiempo; pero, la época más brillante de su historia es la que abarca la segunda mitad del siglo pasado y los principios de éste. A este período pertenecen los miles de pozos, trancadas y socavones, que se hallan dispersos por toda la sierra. La anarquía de estas labores, la pobreza de medios técnicos con que se realizaron y la codicia de los propios mineros, terminaron prematuramente con las fabulosas riquezas de estos criaderos. La minería privada fue decayendo hasta su completa paralización. Para intentar su resurrección, en la actualidad constituye reserva del Estado para plomo y fluorita, y se ha encargado de su investigación a la Empresa Nacional «Adaro» de Investigaciones Mineras. Esta Empresa ha puesto en marcha un vasto plan de investigación en el que se da cabida a las más modernas técnicas de prospección directa e indirecta: fotogeología en color, sedimentología, geofísica, geoquímica y sondeos.

El trabajo que presentamos aquí se reduce al planteamiento de la problemática general de la investigación y al avance de alguno de los resultados obtenidos. Las consideraciones y datos que exponemos son fruto del trabajo en equipo. Este sistema nos permite avanzar en varios frentes a la vez, así como simultanear escalas de trabajo muy diferentes.

Por eso queremos agradecer su colaboración a la señora Argüelles de Lobera y a los señores Perconig, Leal, Moreno de Castro, Gallego, García López y a cuantos, de forma más o menos directa, participan en este trabajo.

## 2. SÍNTESIS GEOTECTÓNICA

La parte meridional de la Península Ibérica está atravesada por las Cordilleras Béticas que presentan grandes complicaciones tectónicas y estratigráficas por la superposición de varias unidades. Esquematisando, se puede distinguir, de Sur a Norte: la zona bética *sensu stricto*, la subbética y la zona prebética. Cada una de éstas cabalga sobre su vecina a lo largo del contacto. La zona bética incluye los elementos más antiguos y profundos de la Cordillera. Se compone de tres conjuntos superpuestos:

### a) Núcleo cristalino-metamórfico de Sierra Nevada

Consta de una serie de esquistos epimetamórficos de edad desconocida: Precambriano o Paleozoico. Encima se encuentran gneises albiticos y mica-esquistos asociados a rocas verdes metamorfozadas, cipolinos y otras facies metamórficas que constituyen la zona de mezcla «*misschungzone*».

### b) Mantos alpujárrides

Recubren a la «*misschungzone*» y están constituidos por varios mantos de cabalgamiento elementales cuyo número y diferenciación no han quedado todavía aclarados.

### c) Manto de Málaga

La extensión geográfica y la constitución litológica y estratigráfica de esta gran unidad, estructuralmente muy compleja, está todavía en discusión.

La Sierra de Gádor podemos considerarla incluida en el dominio alpujárride, aunque esta situación es realmente objeto de una extrapolación por analogía con la Sierra de Lújar y Contraviesa, al Oeste y la Alhambilla al Este, en la que se han realizado diversos estudios, ya que en la Sierra de Gádor propiamente dicha, la carencia de estudios geológicos modernos es total.

Por tanto, nuestros comentarios provienen casi en su totalidad de los conocimientos adquiridos por la Empresa Nacional «Adaro» durante sus trabajos en estos últimos tiempos.

El establecimiento de una serie estratigráfica completa y precisa es quizá la mayor dificultad con que hemos tropezado. La monotonía de las series y la escasez de restos orgánicos, con la consiguiente carencia de niveles guías claros, así como la intensa tectonización a que han estado sometidos los paquetes, han hecho hasta la fecha poco menos que imposible la confección de una serie estratigráfica verdaderamente útil, sobre todo, a la escala minera que es, en definitiva, la que nos interesa.

La gran extensión de la sierra y la posibilidad de que existan a lo largo de ella múltiples cambios laterales de facies, así como reducciones y engrosamientos de las series, hacen que a la hora de generalizar nos quedemos simplemente con lo siguiente:

### 1) *Triás, Werfeniense.*

Filitas, cuarcitas y niveles yesosos; espesor superior a los 100 metros. La base de esta formación no aflora.

### 2) *Muschelkalk.*

Niveles calizos y margosos, esquistosos, de colores claros, amarillentos; paquete fundamentalmente calizo, aunque con niveles dolomíticos; paquete fundamentalmente dolomítico con niveles calizos; margas y calizas superiores; espesor aproximado de 600-700 metros.



La datación como Werfeniense del paquete de filitas y cuarcitas está realizada por analogías con formaciones semejantes de los Alpes, ya que carece por completo de restos orgánicos de cualquier tipo.

En cuanto al Muschelkalk, su determinación es más clara. En lo que se refiere a Macrofauna se cuenta con los hallazgos de Gonzalo Tarín en 1882, *Myophoria Lavigata*, *Myophoria Goldfussi*, *Avicula Bronni*, *Monotis* s. p. y con el muy reciente de un *Paracerasites falso hornensis*, Mojs. datado como Noriense (Serrano, Ríos).

Los estudios micropaleontológicos introducidos últimamente también han dado algún resultado al encontrarse determinados foraminíferos (*trondicularia*, *dentalina*, *nodosaria* y *ammodiscus*) pertenecientes al Triás medio.

### 3) Formaciones terciarias.

Están representadas fundamentalmente por un Mioceno, superior en su mayor parte, que recubre al Triás con cierta extensión en la zona Sur de la sierra y rellena la zona intermedia entre ésta y la vecina Sierra Nevada, en la parte Norte. Aunque su mayor desarrollo se produce en las zonas últimamente nombradas, también hemos observado su presencia en varios lugares en el interior de la sierra, donde incluso llega a alcanzar cotas superiores a los 1.500 metros.

Se trata de formaciones de conglomerados, margas y calizas, en general poco potentes, y bastante fosilíferas, con Pectínidos y Ostreidos fundamentalmente.

### 3) CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS MINERALIZACIONES

La galena es el mineral predominante en la Sierra de Gádor y el que ha dado lugar a los numerosos e importantes núcleos de explotación a que antes nos hemos referido. Las mineralizaciones encajan dentro del paquete carbonatado correspondiente al Triás medio, y, dentro de éste, en niveles determinados de características peculiares:

a) Niveles dolomíticos afectados por una intensa red de fracturación, localmente denominados «chiscarras», en los que la galena aparece rellenando fisuras o en bolos aislados.

b) Zonas brechoides estratificadas en las que la galena forma parte del conjunto, bien sea como constituyente brechoide acompañado de fragmentos calizo-dolomíticos, bien sea como matriz englobando dichos fragmentos.

c) Episodios calizo-arcillosos, donde la galena se presenta en nódulos aislados, o en finas hiladas interstratificadas.

d) Episodios dolomíticos de facies bandeadas con alternancia de franjas claras y oscuras localmente denominadas «piedra franciscana», que incluyen manifestaciones de plomo, en general no muy ricas.

Estas mineralizaciones unas veces son simples, es decir, la mena está constituida casi exclusivamente por galena, mientras que otras ofrecen la peculiaridad de presentar notables enriquecimientos en fluorita. Este mineral, despreciado por la antigua minería, ha servido de base al montaje de modernos lavaderos instalados en la sierra, y que en la actualidad tratan los enormes tonelajes extraídos de las innumerables labores que aquella minería efectuó con vistas a la explotación de mineral de plomo.

Las fluoritas se presentan bajo dos aspectos muy diferentes: fluoritas tajeadas con alternancia de bandas blancas y negras, y fluorita blanca masiva de aspecto brechoide.

Las mineralizaciones repartidas a lo largo de la sierra son tan numerosas y tan mal conocidas, que es muy difícil generalizar sobre la morfología de los cuerpos mineralizados.

Las potencias de los niveles mineralizados oscilan desde escasos centímetros a una decena de metros, y sus corridas máximas alcanzan 300 ó 400 metros.

Resumiendo, podemos decir que estas mineralizaciones se caracterizan por su irregularidad. Otras manifestaciones minerales notables que existen en la sierra son: zinc, en forma de calaminas y cobre en forma de carbonatos. En la parte Nordeste han existido importantes criaderos de azufre nativo que se han explotado hasta hace pocos años.

### 4. EL PROBLEMA GENÉTICO

Este tipo de mineralizaciones presenta peculiaridades que, histórica y actualmente, las hacen objeto de interminables y profundas discusiones sobre su origen. En el caso del plomo y del zinc, aparecen en formaciones sedimentarias, fundamentalmente carbonatadas, y que recubren un zócalo erosionado relativamente próximo. Es notable el contraste existente entre el predominio filoniano del zócalo, y la tendencia a manifestaciones estratiformes en los sedimentos que lo recubren. Normalmente encajan en zonas dolomíticas más o menos silíceas.

Es característica la poca variedad mineralógica de sus paragénesis, normalmente constituidas por sulfuros de plomo y de zinc, con cantidades menores de barita, pirita, calcopirita, fluorita y carbonatos.

En principio, su origen se consideró sedimentario, y los depósitos actuales se supusieron producidos por concentración a partir de disoluciones acuosas de origen superficial, que habrían disuelto los minerales dispersos en los sedimentos para precipitarlos después. Sin embargo, más tarde se incorporaron a las corrientes termalistas para ser clasificadas como teletermales (Graton, 1933) o telemagmáticas (Niggli, 1941).

Actualmente, son el centro de la discusión epigénesis-singénesis. Aquí el



término epigénesis se refiere a un origen independiente del proceso sedimentario que dio lugar a las rocas encajantes, mientras el término singénesis, implica que la sedimentación ha jugado un papel importante en la concentración de las menas, razón por la cual muchos autores prefieren denominar sinsedimentarias a estas mineralizaciones.

Es importante señalar que el término singénesis, en su acepción más amplia y etimológica, se refiere también a yacimientos que por su morfología discordante con las rocas encajantes se clasifican normalmente como epigenéticos. Así, Amstutz ha postulado, y nos parece razonable, que en relación con determinadas rocas, son singenéticas aquellas menas cuyo origen sea el mismo aunque su deposición pueda haber ocurrido con una separación notable en el espacio y en el tiempo. En este aspecto las mineralizaciones filonianas en relación con granitos, los filones y pipas en relación con rocas volcánicas y los filones incluidos en rocas sedimentarias, formados por movilización diagenética de minerales incluidos en el sedimento, son singenéticos respectivamente, con granitos, rocas volcánicas y rocas sedimentarias.

Si el transporte ha sido tal que las menas no encajan en las rocas con las que son singenéticas, nos encontramos con mineralizaciones singenéticas respecto a determinadas rocas, y epigenéticas con respecto a otras. Una variedad del problema la proporciona las mineralizaciones exhalativo-sedimentarias, en las que las rocas volcánicas no se encuentran muy próximas. En su origen remoto serán singenéticas con las rocas volcánicas, pero también lo serán en el próximo con las rocas sedimentarias, pues sufrieron el mismo proceso de concentración.

Por todo ello, y en relación con los yacimientos que nos ocupan, preferimos el término sinsedimentario al que se podrá añadir en el caso de un probado aporte volcánico el prefijo exhalativo. Mejor todavía nos parece la proposición de Routhier de denominarlos vulcano-sedimentarios.

Si el problema capital de la hipótesis hidrotermalista es la búsqueda de la paternidad magmática, pues es típico de estos yacimientos la falta de una actividad magmática importante, más o menos contemporánea, la gran dificultad de la hipótesis sedimentaria pura estriba en la justificación del proceso de aporte de tales concentraciones metalíferas por vía sedimentológica.

Veamos las distintas teorías y sus variedades y cómo se acomodan a los hechos observados.

#### 4.1. Teoría hidrotermal

En un extremo se encuentra la teoría hidrotermal clásica que supone la existencia:

a) De un foco ígneo de situación desconocida productor de soluciones hidrotermales ascendentes.

b) La deposición de menas por metasomatismo de rocas preexistentes en condiciones de bajas temperaturas.

Todo proceso metalizante consta de tres etapas fundamentales: origen, transporte y deposición. Por tanto, las dificultades de esta teoría provienen del carácter altamente hipotético de su interpretación de estas etapas.

El transporte es especialmente difícil de explicar, ya que ocurre muy a menudo que tales mineralizaciones se encuentran localizadas en un horizonte sedimentario, sin que sea posible encontrar el eslabón que las una con el zócalo.

El problema del origen ha sido resuelto por Schneiderhöhn con su teoría de la regeneración. Según este metalogénista, no existe una época metalogénica alpina propiamente dicha, pero esta orogenia produjo una movilización metamórfica de metalizaciones, incluso vulcanismo metalizante, del zócalo hercínico que ascendieron por grandes fracturas rejuvenecidas de éste. Esta teoría explica muy bien el carácter simplista y los problemas de sucesión de las paragénesis, así como el hecho de que existan formaciones filonianas comunes al zócalo y a la cobertura en las cuales la radiocronología ha establecido que son más antiguas que ella. Sin embargo, subsisten los problemas en lo que se refiere al transporte, al alto contenido en iones alcalinos de las inclusiones fluidas, y, en especial, a la conexión con controles paleogeográficos y sedimentológicos.

#### 4.2. Teoría sedimentaria

En otro extremo se encuentra la hipótesis sedimentaria pura, cuyo mayor mérito y avance, proviene de la observación y estudio de procesos tan geológicos como los conducentes a establecer la paleogeografía y las características sedimentológicas de las rocas encajantes. La base de sus razonamientos se encuentra en las siguientes observaciones:

a) *Frecuente control paleomorfológico y paleobatimétrico de las mineralizaciones.*

Efectivamente, en numerosas ocasiones se sitúan en los bordes de los paleorrelieves. Tarr en 1936 señalaba que en el distrito de plomo de Missouri Suroriental, las zonas ricamente mineralizadas se disponían como coronas en torno a altos fondos: paleoislas, graníticos. Foglierini en 1955, dio una interpretación nueva al yacimiento de Malinas, señalando que la mineralización se encontraba en el borde del domo de Gornies, en una zona de Triás reducido y Lias ausente.

Estas observaciones se han extendido a muchas formaciones calizo-dolo-

míticas más o menos margosas. Bernard las ha generalizado a gran número de mineralizaciones de la periferia del Macizo Central francés. Análogas conclusiones han sido extraídas sobre algunos yacimientos de Argelia (Toussit Bou-Beker) y Marruecos (Beni-Tadjit, Aouli-Mibladen). Las formaciones arrecifales resultan ser otros controles importantes, especialmente en los flancos del lado de la costa. Esto ha sido señalado en Meggen (Wesphalia) por Ehrenberg, Pilger y Schroeder y en numerosos yacimientos de los Alpes orientales y del Sur, en el Triás o en las series postgeosinclinales.

Es posible que exista un ulterior factor de concentración señalado ya en algunos yacimientos como el de Figeac en el borde Sur-Oeste del Macizo Central francés. Si en el flanco de uno de estos fondos submarinos los sedimentos llegan a deslizar, fragmentándose los más competentes, se pueden originar en la base brechas particularmente mineralizadas.

b) *Condiciones ambientales y litológicas características de las rocas encajantes.*

Ya hemos señalado la frecuente asociación de las mineralizaciones con dolomías. En muchos casos, se ha podido demostrar el origen singenético o diasingenético de éstas. Esto concuerda con las características de la cuenca de sedimentación que, como hemos visto, a menudo presentan un carácter restringido. Además, la frecuente asociación con sulfatos apunta hacia un ambiente restringido árido, o mejor, de aguas saladas de poca profundidad, en clima cálido, que es el que se considera favorece la formación de dolomías.

Respecto a si las condiciones ambientales señaladas son las más favorables para la formación de sulfuros, recordemos que hoy día se pone seriamente en duda la necesidad de unas determinadas condiciones climáticas. No obstante, se admite que la formación intensiva de sulfuros, precisa de azufre o de hidrógeno sulfurado, es decir, de materia orgánica no destruida por oxidación, y estas condiciones se dan en un ambiente restringido eventualmente aislado de alta mar como los que hemos señalado.

Vemos, pues, que esta asociación de las metalizaciones con dolomías, a menudo silíceas, no es en absoluto una prueba de dolomitización y silicificación hidrotermal. Por otra parte, la sílice no es un acompañante raro de las formaciones dolomíticas sedimentarias.

Esta magnesia y sílice, primitivamente singenéticas o diagenéticas, se pueden movilizar como veremos, recrystalizar, y al igual que los sulfuros producir dolomitizaciones y silicificaciones de aspecto epigenético.

Lombard y Nicolini han deducido de forma experimental otro criterio lito-estratigráfico de control de las mineralizaciones. Toda serie litológica se puede dividir en tramos que se identifiquen con secuencias positivas o nega-

tivas, según siga igual orden u orden inverso que una serie «standard» que vaya desde los sedimentos clásticos groseros a los clásticos finos, a los coloides, mezclados con calizas cada vez más puras, para pasar a dolomías y finalmente a depósitos salinos. Si ahora comparamos las series litológicas encontradas en muchos yacimientos, se observará que la localización de las mineralizaciones en tales secuencias sigue ciertas leyes. Así, los yacimientos de cobre tienden a situarse al final de secuencias positivas o en el paso de una secuencia a otra, mientras que los de plomo se encuentran en secuencias fuertemente positivas.

c) *Macrotexturas y microtexturas de las menas.*

Cuidadosos estudios mineralográficos realizados en varios yacimientos han puesto de manifiesto la existencia de texturas geopetales (Sander), es decir, indicativas de un criterio de polaridad que corresponde a una deposición por gravedad. Igualmente, se han señalado texturas rítmicas en las que los minerales alternan con sedimentos típicos, y también procesos de brechificación y rebrechificación de los sulfuros, donde los cementos son sedimentarios. Estas texturas únicamente resultan explicable si se admite la formación simultánea de la mena y la roca encajante. Particularmente aclaratorias son las encontradas por Schneider y Schulz en los Alpes.

Como señalábamos al principio, si bien no es discutible la formación sedimentaria de sulfuros en pequeñas cantidades, pues existe evidencia actualística, resulta difícil la extrapolación precisa para explicar las grandes concentraciones que se producen en los yacimientos minerales. Según la hipótesis sedimentaria, el mecanismo más plausible es el de la adsorción. En efecto, se sabe que el plomo y el zinc pueden fijarse en las arcillas y en las partículas coloidales de los carbonatos, de la misma manera que iones de magnesio pueden ser absorbidos por un sedimento calcáreo recién depositado y dar lugar a una dolomía diagenética.

Así serían captados los metales que en forma de sales se encuentran en el mar. Bernard asocia este proceso con la incidencia de mineralizaciones en los altos fondos donde se produciría una sedimentación más lenta que daría tiempo a que la adsorción de metales alcanzara valores elevados de concentración, y donde también tendría lugar una concentración mayor de los ultradetríticos capaces de adsorber.

Una vez justificada la incorporación del metal al sedimento, es fácil comprender su forma sulfurada, ya por precipitación directa, como ha probado Weil a partir del azufre orgánico o por sulfuro de hidrógeno producido por reducción bacteriana de los sulfatos.

### 4.3. *Hipótesis genéticas intermedias*

Tanto la teoría vulcanosedimentaria como la paleoinsular resuelven el problema del aporte de metales por vía de derivación ígnea, pero tienen en cuenta las características paleogeográficas de la cuenca de deposición.

La teoría vulcanosedimentaria aceptada para explicar la formación de múltiples yacimientos, concuerda también con los hechos observados en importantes yacimientos de plomo-zinc en rocas carbonatadas, en los que es típica su relación con áreas de deposición situadas entre la línea de costa y el arrecife que las protege del mar abierto. Entre ellos se encuentran más de veinte yacimientos de las series postgeosinclinales de los Alpes, que se sitúan desde el Permiano superior al Carniense inferior, y que han sido estudiados por Taupitz, Hegeman, Maucher, Schneider, Schulz y otros autores. Los mejor conocidos, Bleiberg, Raibl, Gorno y Monte Calisio, se sitúan en los Alpes del Sur y del Este, y todos en series calizodolomíticas con rocas volcánicas hacia su base.

Los yacimientos que aparecen en el Ladiniense tienen una relación mucho más estrecha con las rocas volcánicas, y, además, presentan una mineralogía más complicada que el resto, y pueden contener zinc, plomo, cobre, arsénico y antimonio. Pereira, tras examinar estos yacimientos y compararlos con los que aparecen en las calizas carboníferas de Irlanda, localizados especialmente allí donde se produce la intersección de alineaciones volcánicas con antiguas líneas de costa, sugiere para su génesis una convergencia muy interesante de fenómenos.

Parece que muchos de esos yacimientos tienen un origen tanto exhalativo como bioquímico; es decir, las condiciones más favorables para su aparición se producen cuando la actividad volcánica submarina tiene lugar en áreas de sedimentación que presentan un tipo de ambiente químico y bacteriológico determinado, como es el de estas zonas arrecifales. Por otra parte, no es sorprendente esta coincidencia, pues es normal encontrar actividad volcánica a lo largo de antiguas líneas de costa.

Es importante señalar en relación con las ideas anteriores que V. T. Matueyenko y E. T. Shatalov, tras importantes estudios de la parte Nordeste de Siberia proponen la teoría de que las grandes fracturas del zócalo son uno de los controles regionales principales que gobiernan la distribución de las provincias metalogénicas. Tales fracturas no presentan una manifestación superficial clara, y su presencia debe deducirse de la alineación de granitos, de la dirección dominante de diques, filones hidrotermales, y también, de la distribución de los centros volcánicos.

La teoría paleoinsular propuesta por Pellinsonnier supone una ingeniosa aportación a estos problemas. Admitiendo que el aporte de los metales se hace por soluciones hidrotermales, se plantea el problema de cómo pudieron

éstas pasar del zócalo a la formación carbonatada, teniendo que atravesar los horizontes arcillosos que es lógico encontrar en la parte inferior de las series. Encuentra solución en las paleoislas donde, o bien no se produjo sedimentación arcillosa, o fue mínima por su estado de emersión. Además el carácter de «horst», atribuible a muchos de estos paleorrelieves, con fallas que los delimitan, da la clave del lugar por donde ascendieron las disoluciones. El carácter vivo de estas áreas marginales, mientras durara la subsidencia en la cuenca, facilitaría aún más el proceso, al romper la débil capa arcillosa que hubiera podido existir, y explicaría la génesis de muchas brechas de flancos. Pellinsonnier señala además, que su teoría tanto facilita una interpretación epigenética metasomática como hidrotermal sedimentaria, pues todo depende del momento en que se produjera el aporte de los metales.

Respecto a la naturaleza de este hidrotermalismo considera que tanto puede provenir de un vulcanismo plutónico como de las disoluciones regeneradas del esquema Schneiderhöh.

Como conclusión positiva, vale la pena señalar que, cuando se enfoca el problema desde un punto de vista geotectónico, no es difícil conciliar ideas aparentemente tan dispares como la sedimentación, vulcanismo y regeneración.

### 4.4. *Filones controlados estratigráficamente*

No es difícil imaginar que las mineralizaciones controladas estratigráficamente, por alguno de los anteriores procesos, sufran efectos de diagénesis avanzada o de metamorfismo y que se movilicen para depositarse en áreas de fracturación. Así, nos podemos encontrar con menas que manifestando en detalle un aspecto totalmente filoniano, presenten, sin embargo, en su conjunto un control estratigráfico, si es que la movilización no fue excesiva.

Hemos pasado, pues, de la singénesis a la epigénesis. Este fenómeno es mucho más corriente de lo que parece a primera vista, y es sin duda una de las causas fundamentales de la actual controversia epigénesis-singénesis. Yacimientos tan importantes como los de Bleiberg, Raibl y Toussit-Bou-Beker presentan estos filones y en ellos ha sido posible establecer el nexo entre los horizontes primitivamente portadores de los minerales y los que actualmente los incluyen.

## 5. RESULTADOS ACTUALES DE LA INVESTIGACIÓN DE LA SIERRA DE GÁDOR DE ESPECIAL SIGNIFICADO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA GENÉTICO

En las páginas anteriores hemos procedido a una ambientación general de las mineralizaciones y a un análisis del problema genético para poder someter a juicio algunos de los resultados que van surgiendo en el proceso de investigación. Nos ha parecido adecuado resaltar aquí los referentes a:

### 5.1. *Tectónica*

La Sierra de Gádor está considerada por los geólogos, de la escuela de Fallot (Boulin y otros), como parte integrante de los mantos alpujárrides, que se consideran simplemente yuxtapuestos a la *Misschungzone* que la separa de la Sierra Nevada.

Observada en sí misma, aislada de las sierras más o menos próximas a ella, podemos apreciar que está afectada por una tectónica de estilos diferentes. El más espectacular es indudablemente el de cabalgamientos. En varios lugares de la Sierra, tanto en la zona E. como en la W. puede verse cómo la formación de filitas y cuarcitas inferior se apoya en la calizo-dolomítica superior a la que recubre a lo largo de frentes cartografiables durante varios kilómetros (fig. 1).

Sus direcciones de avances aunque no perfectamente determinadas, parecen sugerir tendencias SE.-NW. Su número tampoco no es exactamente conocido, aunque es posible que, al menos en la parte W., no sea inferior a dos.

Las principales direcciones de fracturación se reducen a las E.-W., N.-S. y NW.-SE., NNE.-SSW.

El primer grupo se manifiesta principalmente mediante rasgos topográficos, línea de costa, grandes barrancos (Río Grande, Andarás, etc.), mientras que el segundo grupo es el que se ve más apreciablemente en la estructura de la sierra. Ambos se combinan para proporcionar una variada tectónica de bloques, a todas las escalas, que hacen muy difícil que se conserve ninguna estructura, ni siquiera permiten seguir un horizonte por más de unos escasos centenares de metros.

Las fracturas pertenecientes al segundo grupo son claramente posteriores a los cabalgamientos, ya que los terminan y desplazan. Esta es la principal dificultad encontrada para determinar su número, ya que en ocasiones es difícil saber si se trata de un frente perteneciente a una escama distinta o se trata de un desplazamiento por falla de otro ya determinado.

Contrariamente a lo que podría suponerse en un área afectada por fenómenos de cabalgamiento, la determinación de estructuras de plegamientos es difícil y aunque no puede negarse la existencia de pequeños pliegues volcados su tamaño es inadecuado para su representación en la escala en que trabajamos.

La importancia de estas direcciones de fracturación no se circunscribe al área en estudio, sino que pertenecen a las dominantes en la vecina región volcánica de Cabo de Gata-Rodalquíjar.

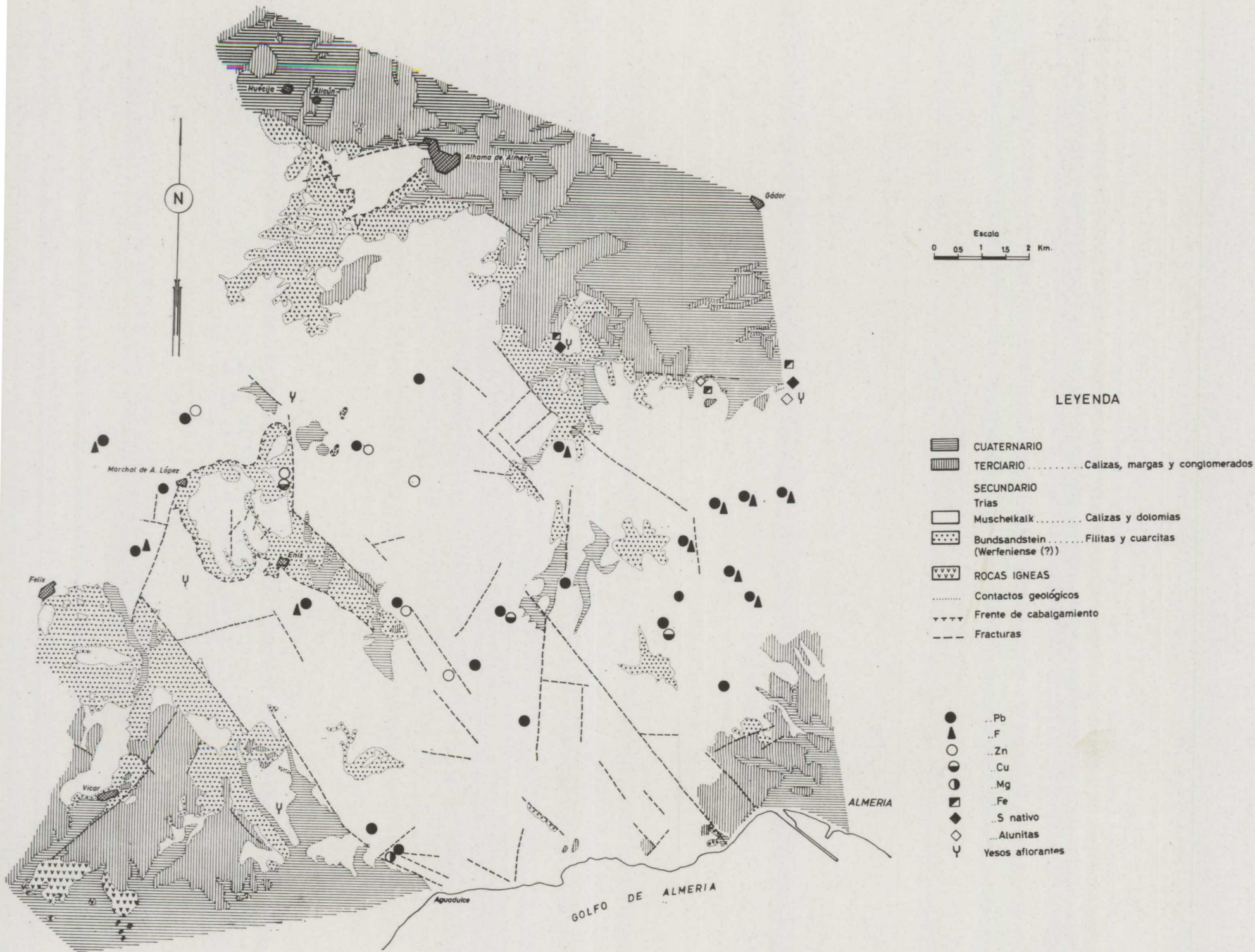


Fig. 1.—Esbozo geológico-metalogénico de la zona E. de Sierra de Gádor (Almería).

### 5.2. *Rocas ígneas*

Quizá una prueba de lo que acabamos de decir se encuentre en el peculiar afloramiento existente en las proximidades del pueblo de Vicar. Se trata de un conglomerado de cantos de andesitas anfibólicas (semejantes a las de Rodalquilar) de cemento calizo que supone la existencia de un verdadero afloramiento de esta roca volcánica existente a escasos metros bajo el conglomerado.

No paran aquí las manifestaciones de rocas ígneas en la Sierra de Gádor. En la figura 1 hemos marcado los lugares conocidos hasta ahora en que aparecen rocas de este origen.

Los afloramientos de Benínar, Castala, Los Colorados y Barranco de Alcora muestran una roca tipo diabasa aparentemente interestratificada en la serie carbonatada.

Están groseramente alineados según la dirección N70-E., pero no tratándose de ninguna de las direcciones tectónicas preferentes o bien se trata de un reflejo de una fractura del zócalo o bien de una simple coincidencia. También en las proximidades de la mina San Diego y en el paraje del Calabrial existen sendos afloramientos de una roca ígnea, color gris. Sobre todas estas rocas se encuentran en curso estudios petrográficos.

### 5.3. *Zonalidades metalogénicas*

En la figura 1 sintetizamos nuestros conocimientos geológico-metalogénicos actuales sobre la zona E. de la Reserva del Estado de Sierra de Gádor.

Aunque todavía con notables imperfecciones, ya pueden servirnos para deducir algunas consecuencias dignas de interés. Así, es extraordinariamente aparente la existencia de zonalidades de manifestaciones minerales que se disponen en dirección NW.-SE., una de las más claras de fracturación regional.

En detalle, y de NE. a SW. encontramos, como puede observarse en el mapa geológico-metalogénico, las siguientes:

Zona de azufre nativo, hierro y alunitas.

Zona de plomo y flúor.

Zona de plomo, cobre y zinc

Zona de flúor y plomo.

Otra observación interesante es que las tres primeras zonas parecen encontrarse relacionadas con el frente de cabalgamiento más al N., mientras que justamente la cuarta, en la que aparece de nuevo el flúor, coincide con

la aparición del segundo frente. Esta relación se torna especialmente sugestiva si añadimos que la primera zona del primer frente, la del azufre, alunitas y hierro, debe recibir una consideración aparte, más claramente relacionada con la facies de sedimentación según otros estudios realizados por la Empresa Nacional «Adaro».

Señalemos por último la ubicuidad del plomo y la aparente incompatibilidad del flúor, en cantidades apreciables, con el Zn y el Cu y la asociación de éstos.

#### 5.4 *Caracteres petrográficos, petroquímicos y sedimentológicos de las rocas en las que encajan las mineralizaciones*

En la figura 2 se presenta un corte petrográfico, según la clasificación de Folk, y las curvas de variación correspondientes de los óxidos  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en una potencia de 130 metros, que incluye a las mineralizaciones en la zona de La Tolva. En la figura 3 se indica el detalle de localización de las muestras y en la figura 4 las características estructurales acompañantes. De la observación de las figuras se deducen las conclusiones siguientes:

a) Las mineralizaciones encajan en una potente zona dolomítica, de carácter fundamentalmente sedimentario, como prueban los estudios petrográficos y las curvas de  $\text{CaO}$  y  $\text{MgO}$ .

b) Con la mineralización van asociados de forma muy clara máximos del contenido en  $\text{SiO}_2$ , en concordancia con los estudios petrográficos y los mineralográficos que expondremos a continuación.

c) La mineralización se encuentra situada al final de una serie positiva, según la definición de Lombard, compuesta por margocalizas, calizas margosas, calizas dolomíticas, dolomías y yesos. Éstos no han sido indicados por su carácter discontinuo, pero aparecen al final de las dolomías.

d) Existe una estrecha relación de la mineralización con una dolomía de grano más grueso (Dolomía III, Dolomía IV).

e) Es frecuente la existencia de brechas interestratificadas.

#### 5.5 *Análisis textual, paragenético, de sucesión, y temperaturas de formación*

La hipótesis genética, que ha prevalecido para explicar la formación de la fluorita listada, es la contracción producida por la sustitución. A la vista de las microfotografías 1, 2, 3 y 4 que presentamos, y que demuestran el tránsito de la mena listada a la brechoide, nosotros creemos que el proceso fundamental de formación ha sido dinámico. Ha podido tener lugar tanto



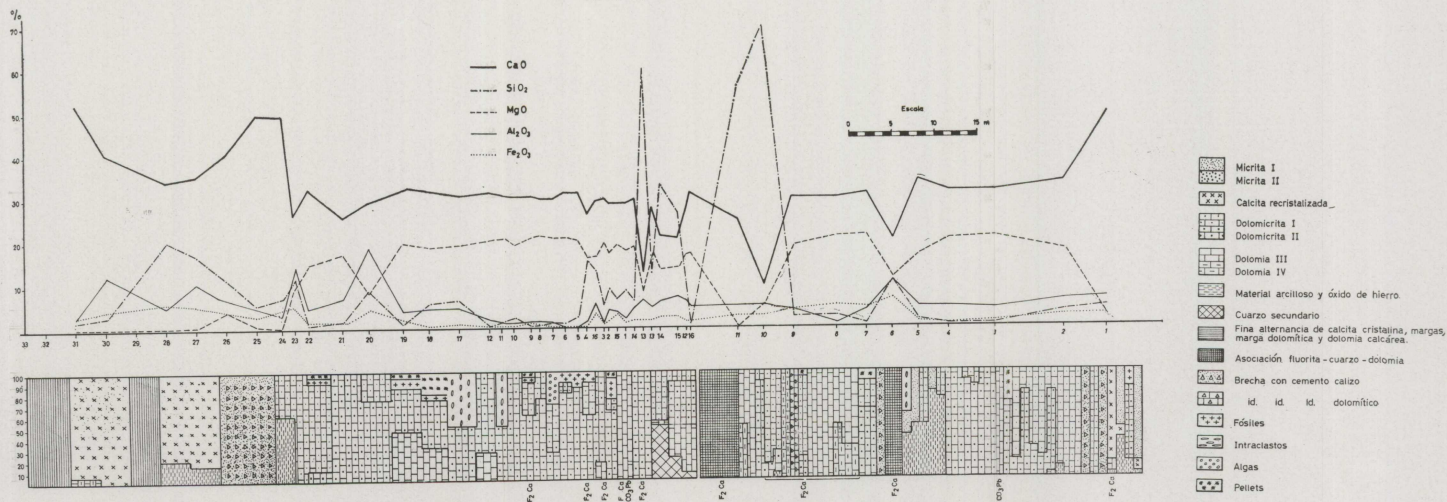


Fig. 2.—Análisis químico y estudio sedimentológico petrográfico de muestras procedentes de un corte realizado a lo largo de un socavón 20 y pozo 16 (La Tolva, Laujar de Andarax)

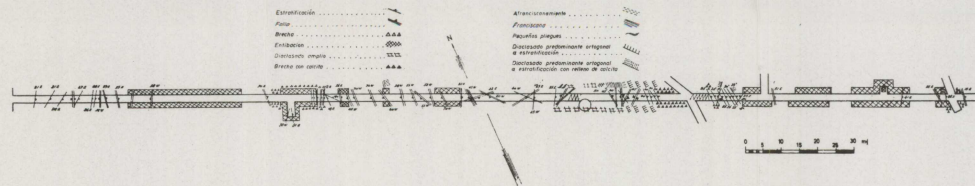


Fig. 4.—Observaciones estructurales realizadas en el socavón 20 (La Tolva)

por deslizamientos en la propia cuenca de sedimentación, como posteriormente por efectos de cizallamiento. Estos son, como hemos señalado, muy normales en esta formación donde se producen deslizamientos relativos entre estratos competentes e incompetentes.

Con el paso de la mena listada a la brechoide, los efectos de relleno van predominando sobre los de sustitución. Así, en las microfotografías 1 y 2 las bandas negras corresponden a fluorita metasomática y las blancas a fluorita de relleno. En la microfotografía número 2 es interesante señalar

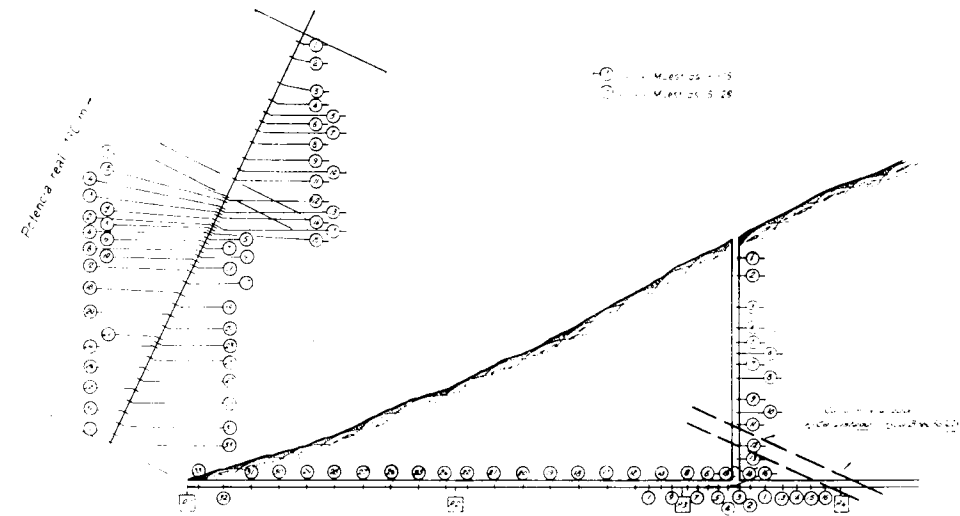


Fig. 3.—Corte socavón 20 — pozo 16. Escala 1:1'000

que los agregados microbrechoides situados encima de las bandas negras están ya constituidos por carbonatos. Estos componen totalmente las zonas oscuras de las microfotografías números 3 y 4.

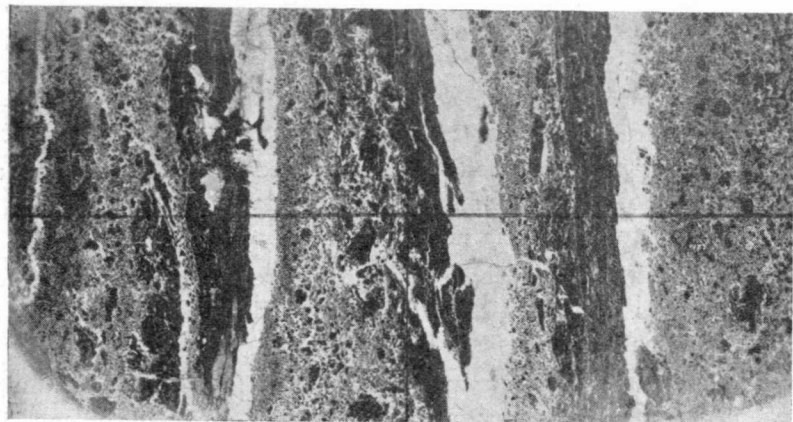
De forma paralela, la galena solamente aparece en zonas de relleno y, en consecuencia, es característico de estas mineralizaciones el que las menas brechoides sean las más ricas en Pb.

Desde un punto de vista puramente textural la fluorita aparece antes que la galena, primero como producto de sustitución y luego de relleno. Cuarzo de baja temperatura, calcita y barita son minerales asociados. La calcita parece ser el primer mineral formado y la barita y cuarzo acompañan a la fluorita. No insistimos en estas relaciones de paragénesis y sucesión, pues preparamos una publicación detallada sobre ellas.

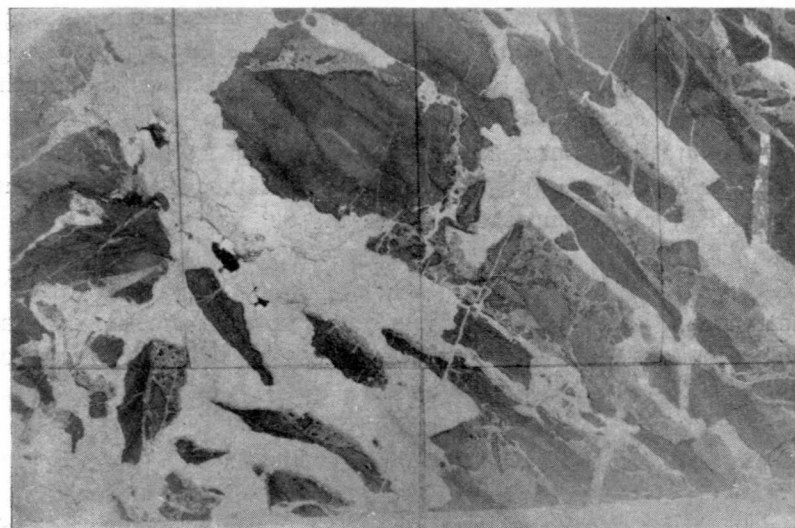
Insistimos finalmente, que, salvo el paso de la mena listada a la brechoide, no creemos se deba atribuir significado especial genético a las rela-



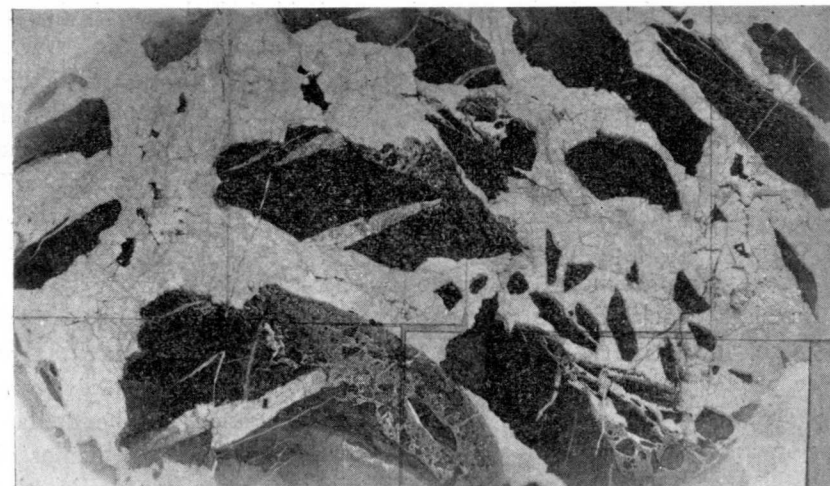
Microfotografía núm. 1.—Tamaño natural, nicoles paralelos. Fluorita listada típica



Microfotografía núm. 2.—Tamaño natural, nicoles paralelos. Fluorina listada en tránsito a brechoide



Microfotografía núm. 3.—Tamaño natural, nicoles paralelos. Mena brechoide en la que todavía se observa un pseudolistado



Microfotografía núm. 4.—Tamaño natural; nicoles paralelos. Mena brechoide

ciones texturales de paragénesis o de sucesión, pues pueden ser resultado de movilizaciones diferenciales diagenéticas o epimetamórficas.

En relación con la existencia de texturas geopetales, indiquemos que el único criterio de polaridad puede ser el observable en la microfotografía número 2. Por el contrario, no hemos visto brechificaciones o rebrechificaciones de la mena cementadas por sedimentos.

La temperatura de formación de la fluorita de La Tolva, según los estudios geotermométricos, por el método decrepitoscópico de Deicha, que venimos realizando, está comprendida entre los 80° y los 120°.

## 6. CONCLUSIONES SOBRE LAS GÉNESIS DE LAS MINERALIZACIONES, LOS MEDIOS PARA ENCLARECERLA Y LA IMPORTANCIA QUE ELLO REVISTE EN LA INVESTIGACIÓN MINERA

### 6.1. Conclusiones genéticas

A la vista de las consideraciones anteriores veamos qué interpretaciones favorecen una hipótesis epigenética y cuáles una sinsedimentaria.

#### 6.2.1. A favor de una hipótesis epigenética:

a) La evidente disposición de las mineralizaciones en zonas que, además, coinciden con direcciones de fracturación importantes.

b) Los asomos de rocas ígneas y la proximidad de la provincia volcánica de Rodalquilar, tan rica en manifestaciones de Pb, Cu, Zn, Au, Ag. Señalemos que de probarse una relación con estas últimas, quedaría excluida incluso una génesis vulcano-sedimentaria, dada su edad Vindoboniense-Tortonense. Tal hipótesis solamente sería sostenible cuando se probara su asociación con las rocas verdes cuyo carácter sinsedimentario es más posible.

c) El aspecto metasomático de las mineralizaciones. Sin embargo, en nuestra opinión, tal argumento no tiene validez, pues la sustitución inter mineral puede ser igualmente un proceso de diagénesis.

d) La clara asociación de cuarzo de baja temperatura con la mineralización, la ausencia de texturas claramente sedimentarias en ésta y la posibilidad de producir tales estructuras además de por un proceso sedimentario por uno dinámico, que no puede causar sorpresa cuando encima de la mineralización aparece un horizonte arcilloso, fracturado y con pequeños pliegues en su base. Este proceso debe haber sido producido por deslizamiento diferencial entre lechos competentes e incompetentes.

e) La clara asociación de la mineralización con dolomía de grano grueso, aunque ésta puede haber sido producida por recristalización diagenética.

f) La dificultad actual de explicar la formación de fluorita por un aporte sedimentario, mientras es bien fácil hacerlo por vía metasomática de reacción de disoluciones ricas en ácido fluorhídrico con rocas carbonatadas.

g) La aparente falta de relación, según nuestros conocimientos actuales, de las mineralizaciones con altos fondos o paleorrelieves.

#### 6.2.2. A favor de una hipótesis sedimentaria:

a) Las mismas zonalidades metalogénicas, pues está por demostrar que su orientación no corresponda con líneas de costa, o de isofacias, como pudiera ser el caso del azufre, alunitas y hierro.

b) La morfología estratiforme de las mineralizaciones y la ausencia, al menos en nuestro conocimiento, de formaciones filonianas.

c) La inexistencia de mineralizaciones en las filitas y cuarcitas infra-yacentes, lo que pone de actualidad, una vez más, el problema de cómo disoluciones mineralizadoras pudieron llegar a las rocas carbonatadas; aunque esto pudiera haber ocurrido por fractura, la relación de los yacimientos con ellas es únicamente regional, no se conocen afloramientos o contactos fallados con el Paleozoico, y en cualquier caso no quedan vestigios de las mineralizaciones, ni siquiera en una fase estéril, en las launas.

d) La aparición de las metalizaciones en los paquetes dolomíticos, cuya génesis sedimentaria, al menos en una parte importante, parece clara y la localización del Pb y Cu en secuencias que se corresponden con las de Nicolini. Igualmente las condiciones ambientales concuerdan con las de las cuencas de formación de sulfuros más adecuadas.

e) La relación con zonas arcillosas a las que como hemos indicado, se atribuye la mayor posibilidad de adsorción de iones metálicos.

f) Las mismas texturas de las menas, cuyas formaciones listada y brechoide son igualmente explicables por deslizamientos en el área de sedimentación. La diagénesis y el epimetamorfismo producirían las especies minerales actuales, movilizaciones diferenciales de ellas y reacciones con los carbonatos, más o menos selectivas, dando lugar al actual aspecto metasomático a la escala de especie mineral.

g) La general analogía geotectónica y metalogénica de esta provincia metalífera con aquéllas a las que, cada día en medida mayor, se atribuye origen sinsedimentario.

Sin duda la hipótesis que a primera vista mejor se acomodaría sería la vulcanosedimentaria para el flúor y la sinsedimentaria para el plomo. Así, y recordemos las zonalidades metalogénicas, éste tendría una distribución más amplia en concordancia con las condiciones sedimentológicas de tipo restringido, tan frecuentes en la sierra, mientras que el flúor pudiera ser producido por aporte a las mismas cuencas de sedimentación. Ya hemos señalado que

es normal la incidencia de procesos de tipo volcánico en tales ambientes, y que diversos autores señalan que muchas manifestaciones hidrotermales corresponden a fracturas del zócalo, que pudieran estar vivas durante el proceso de sedimentación, para depositar los elementos por una convergencia de procesos exhalativos y bioquímicos.

6.2. *Métodos de investigación en curso, en el plan de investigación de Sierra de Gádor, para aclarar el problema genético. Su importancia en la investigación minera*

Dentro del plan de investigación de la Sierra de Gádor, de cuya organización nos ocupamos en otra publicación presentada en estas Jornadas, las diversas técnicas en curso que han de facilitar el problema genético son las siguientes:

a) Mapa metalogénico, muy avanzado, del que aquí hemos presentado una síntesis de la zona E.

b) Mapa geoquímico, efectuado sobre redes de drenaje, por F, Pb, Zn, Cu y Ba. Se encuentra terminado en la cuenca experimental de Beninar y permitirá, además de su objetivo de prospección, delimitar las zonas metalogénicas muy precisamente.

c) Investigación geoquímica del contenido en oligoelementos de los diferentes estratos y muy especialmente de los arcillosos, en relación con el posible fenómeno de adsorción.

d) Estudios geológicos de detalle, de campo y mina, conducentes a definir la verdadera morfología de los cuerpos mineralizados y su relación estructural con las rocas y estructuras encajantes.

e) Determinación mineralográfica y geotermométrica sistemática de las mineralizaciones y zonas metalogénicas, con especial énfasis en la presencia o ausencia de texturas geopetales y de gradientes de temperatura.

f) Estudios geocronológicos sobre la galena y otros sulfuros, tanto en la mineralización como en la roca encajante. Investigación de la relación Ni/Co y de otros oligoelementos de particular significación en ambientes sedimentarios.

g) Confección sistemática de cortes estratigráficos, con el objeto de ver si es posible generalizar la aparición de las mineralizaciones en estratos o secuencias determinadas.

Es obvia la trascendencia del problema genético en investigación minera, pues la alternancia singénesis-epigénesis se traduce en otra: prioridad a los trabajos estratigráficos o a los estructurales.

Esta decisión es de particular importancia en la investigación que nos ocupa por el carácter altamente especializado que requieren los estudios estratigráficos y por la complejidad de las relaciones estructurales.

Recibido el 22-VI-67.

MARIANO-RICARDO ECHEVARRIA CABALLERO

GEOTECNIA. — MAPAS GEOTECNICOS

RESUMEN

En la presente comunicación hemos expuesto los motivos por los que los Ingenieros llegaron al convencimiento del importante papel que juega la Geología y la constitución de los materiales en los terrenos que han de servir de soporte a las obras de ingeniería, ya sean éstas construcciones o minas.

De esas inquietudes, puestos a trabajar conjuntamente los Ingenieros y Geólogos, y después de poner a punto unos métodos, utilizando los conocimientos de ambos y tras experiencias satisfactorias, nacen dos nuevas ramas de las Ciencias de la Tierra: la Mecánica del suelo y la Mecánica de las rocas. Estas ramas con el conjunto de sus métodos experimentales y de aplicación práctica dan lugar a una moderna Ciencia: la Geotecnia.

Hemos tratado a continuación la evolución que ha seguido la realización de mapas geotécnicos en distintos países con el tiempo. Naciones avanzadas técnicamente, como Alemania, Checoslovaquia, Francia, han adaptado las técnicas de los estudios geológicos a las necesidades del Arte del Ingeniero y han conseguido un perfeccionamiento en los métodos geotécnicos muy loables. No obstante, queda mucho por hacer y ello no se consigue más que llevando a la práctica lo existente e investigando los defectos que ello pueda tener, los detalles que se han omitido y las necesidades futuras que puedan surgir.

Los trabajos realizados hasta el momento actual, como hemos explicado anteriormente, se han llevado a cabo de la forma siguiente:

Una primera fase de información previa consistente en un estudio geológico y una recopilación de datos sobre topografía del terreno, sondeos y pozos, así como canteras, excavaciones, ensayos geotécnicos e hidrológicos, etc., realizados con anterioridad en la zona.

A continuación se toman las muestras necesarias para identificación del terreno y se llevan a cabo ensayos de resistencia del terreno *in situ* y, en el laboratorio, de las muestras obtenidas.

Finalmente, se elabora un plano con la distribución de terrenos en cuanto se refiere a su valor constructivo y se redacta un capítulo de recomendaciones a tener en cuenta por el proyectista.

Para terminar diremos, que no es necesario insistir más en la importancia de los estudios geotécnicos, pero sí creemos que se debe acometer con urgencia, en nuestro territorio nacional, la confección del mapa geotécnico en las áreas destinadas a desarrollo industrial y urbanístico, labor que debe ser ejecutada por el Instituto Geológico y Minero de España. Con este fin nuestro Director, D. Félix Aranguren, ha creado en el mismo el Departamento de Geotecnia.



Resulta difícil determinar, *a priori*, las zonas exactas en que habrán de realizarse los estudios, teniendo en cuenta que, por el carácter eminentemente práctico de los mismos, hemos de ir paralelamente a las directrices que nos señale el Plan de Desarrollo Económico y Social a través de sus Comisiones. Pensamos, por otro lado, que el Ministerio de Industria, al tener en cuenta los distintos factores que determinan la implantación de nuevas industrias o zonas industriales, no debe olvidar que uno de los principales es el de su situación geográfica, ligada a las características geológicas regionales, factor natural que no siempre el hombre puede cambiar y que, en cualquier caso, su conocimiento adecuado puede representar un ahorro considerable en la Economía Nacional. A este tema van encaminadas nuestras inquietudes y en él ofrecemos nuestra colaboración y nuestro interés incondicionalmente.

No obstante lo expresado anteriormente, creemos que como objetivos principales tenemos zonas urgentes para investigar. Aquellas en que se está produciendo un desarrollo industrial a gran escala como son: Barcelona, Zaragoza, Madrid, Sevilla, Huelva, Galicia, Vascongadas, Navarra, y áreas en las que se producirán en corto plazo como en el Campo de Gibraltar, Castellón, etc.

El Departamento de Geotecnia del Instituto Geológico y Minero de España, ha acometido ya en parte de estos trabajos. Se ha comenzado un estudio geotécnico de varias zonas, en la provincia de Alava, destinadas a instalaciones industriales; así mismo, se hará un estudio en la provincia de masas canterables para usos industriales o de construcción. En la actualidad se está estudiando la posibilidad de realizar los mismos trabajos en la provincia de Navarra. Finalmente, se ha presentado un plan de estudios geotécnicos, en distintas áreas del territorio nacional, al Plan de Desarrollo Económico y Social para el cuatrienio 1968-1971.

## 1. EXPOSICIÓN

### 1.1. Antecedentes

En el primer cuarto de siglo actual hubo fallos en obras de ingeniería que dieron lugar a catástrofes con pérdidas de muchas vidas y daños materiales elevados; ante estos hechos, entre los ingenieros civiles se hizo evidente la idea de que no es suficiente el diseño cuidadoso de la estructura en sí misma para lograr una garantía de su seguridad. Con anterioridad a tan lamentables sucesos, no estaba en la conciencia de todos y cada uno de los ingenieros la visión clara de que el proyecto de una estructura debe ir precedido de un estudio cuidadoso de su ambiente y de los materiales sobre los cuales ha de asentarse la estructura. Comprendieron, por tanto, cuán grande es la necesidad de la exploración de la zona circundante y de la correcta interpretación de los resultados. Resultó aconsejable consultar a los geólogos acerca de las características de los materiales naturales existentes en el emplazamiento de la construcción proyectada.

Debería, sin embargo, establecerse una distinción entre Geología y Geología ingenieril.

La Geología del ingeniero, en su estado actual, puede concebirse como la rama que utiliza la información geológica, en combinación con la práctica

y la experiencia, para auxiliar al ingeniero en la solución de problemas en los que tal conocimiento pueda ser aplicable. La diferencia entre la Geología ingenieril y la Geología reside esencialmente en sus alcances respectivos. Las actividades del ingeniero, en cuanto a construcción de estructuras se refiere, se limitan a una capa relativamente delgada de la corteza terrestre, en tanto que los estudios geológicos, en sentido amplio, interesan profundidades mucho mayores. Los estudios geológicos corrientes afectan, por lo general, a áreas extensas; como consecuencia, la información que suministran los mapas geológicos puede resultar demasiado general para los objetivos ingenieriles, y no pone de manifiesto las circunstancias geológicas con el detalle que necesita el ingeniero.

Lo que al ingeniero le interesa conocer es si determinado factor constructivo de la corteza terrestre —roca o suelo, bien en su estado natural, bien tras un proceso de reforma— encaja en su programa constructivo; y si no es así, desea saber si es posible hacerlo encajar y cómo puede conseguirse.

Conforme se fue ampliando el campo de la geología aplicada a la Ingeniería, resultó gradualmente más evidente que los descubrimientos y deducciones del geólogo deberían traducirse en aplicaciones y términos prácticos, comprendiéndose, por tanto, que la sola información geológica no era suficiente.

Mientras que en las obras de Geología no se encuentra alusión respecto del comportamiento de los suelos y de las rocas sujetos a cargas, los Ingenieros, no solamente han adquirido suficiente práctica acerca de estas materias, sino que han elaborado las bases teóricas para el establecimiento de una nueva ciencia de la tierra —la Mecánica del suelo y de las rocas—, útil auxiliar en el proyecto y construcción de estructuras en general, en lo referente a su relación con los materiales que forman la corteza.

El advenimiento de la Mecánica del suelo y de las rocas despertó entre los ingenieros un gran interés por la Geología, desde el momento en que se dieron cuenta que la eficacia de la Mecánica del suelo puede incrementarse ampliamente combinándola con la Geología.

De este modo la Geología ingenieril, reforzada con información útil, sacada de otras ciencias del suelo y con adecuadas nociones de ingeniería, se transforma gradualmente en una rama nueva del saber humano: la Geotecnia.

### 1.2 Información general sobre el problema de la cimentación

Exponemos a continuación algunos principios de correlación del tipo de cimientos para una construcción con los factores geológicos del lugar y sus alrededores.

El programa exploratorio para la cimentación de una construcción depende esencialmente de dos factores: *a)* el peso de la construcción y otras fuerzas

que actúan sobre ella, y *b*) el servicio de la construcción o fin para el que se va a construir. El trabajo de perforación deberá limitarse al número de sondeos estrictamente necesarios, los cuales no deberán ser excesivamente profundos. Para completar este trabajo, es preciso un conocimiento general de las condiciones geológicas locales, combinado con la experiencia en proyectos de construcciones. El hecho de que en algunos casos las investigaciones de campo no son esenciales o son muy simples, no significa que en todos los casos se pueda evitar una investigación detallada. Los mismos principios gobiernan las pruebas de laboratorio de suelo y roca. Estas pruebas tienen que considerarse como parte integrante del programa exploratorio y merecen mucha extensión, especialmente si hay posibilidad de asentamiento excesivo de la construcción (ensayo de consolidación) o existe la amenaza de una grieta de cizalla (ensayo de esfuerzos cortantes).

Además del estudio de la roca y suelo, deberá obtenerse toda la información relativa al movimiento de tierras que deba hacerse al mismo tiempo que la edificación. Dicho movimiento de tierra consiste en excavaciones para los cimientos y nivelación del lugar, lo cual algunas veces trae consigo grandes terraplenes y excavaciones profundas.

Entre los problemas que presenta una cimentación, algunos son comunes a todas las clases de edificación como lo son los de excavación, materiales de cimentación inestables y aguas subterráneas; otros son característicos de los diferentes tipos de edificaciones. Vamos a hablar, aunque sea someramente de los primeros y después trataremos, por separado, de los programas exploratorios de varios tipos de edificaciones.

En cuanto a las excavaciones se presentan desprendimientos y corrimientos motivados, bien sea por terrenos sueltos o por meteorización de ciertas rocas expuestas a los agentes atmosféricos, y por fallas o superficies de deslizamientos en margas o pizarras. Se pueden prever estos movimientos con un estudio previo del terreno y aplicar algunos de los métodos de estabilización de los muros de la excavación.

En las cimentaciones sobre suelos inestables se pueden producir hinchamientos, agrietamientos debidos a expansión de los suelos o fenómenos de saturación. Estos problemas se afrontan generalmente con distintos tipos de drenajes o bien, si es realizable, eliminando la capa de terreno perjudicial.

Las aguas subterráneas profundas no tienen relación con las cimentaciones de edificios, salvo en casos excepcionales. Por el contrario, las aguas freáticas tienen que ser tomadas muy en cuenta si es subterránea la estructura o una parte vital de ella. En tales casos la parte subterránea de la estructura deberá impermeabilizarse completamente. Se estudiarán las fluctuaciones del agua del suelo, ya que estos datos son importantes para el propietario del edificio, para el proyectista y para el contratista. Para asegurar los datos del agua subterránea, deben introducirse en algunos de los sondeos tuberías

de observación. Las lecturas del nivel freático se tomarán a intervalos regulares mientras el programa avanza y durante todas las estaciones del año antes de que empiece la construcción.

A continuación exponemos unas ideas generales sobre estudios previos del terreno para cimentación de edificios comerciales e industriales.

Los edificios comerciales se caracterizan por fuertes concentraciones de cargas, generalmente transmitidas a los cimientos por medio de pilares. Muchas de ellas tienen basamentos profundos, hecho que requiere una cuidadosa investigación del agua subterránea.

Como en la mayoría de los edificios, la magnitud del programa exploratorio depende del coste de la estructura, que generalmente es elevado, pero varía dentro de amplios márgenes y depende de la posible estratificación de los materiales subterráneos.

El número de perforaciones depende de la relación entre la variabilidad hipotética de los materiales de las fundaciones y de la magnitud de área de la estructura. La profundidad de las perforaciones depende de las cargas calculadas del edificio, de la profundidad del basamento y de los materiales que se encuentren.

La prueba normalizada de penetración suele ser conveniente para explorar los materiales del suelo en el campo, siempre que se hayan establecido en el laboratorio valores correlativos de algunas muestras.

Se preparan cuidadosamente cortes de todos los sondeos. Se diseñan cortes transversales geológicos a través de las secciones características del edificio. En estas secciones se dibujarán los cortes de las perforaciones, se indicarán los resultados de las pruebas de penetración, se anotará el nivel del agua en cada sondeo, y si se han hecho ensayos de laboratorio, también deberán indicarse en las perforaciones de mayor importancia, densidad, humedad y resultados de la clasificación.

La naturaleza geológica de los materiales subterráneos puede ser importante en la interpretación de los ensayos de laboratorio. El que puedan aplicarse o no a áreas relativamente grandes los resultados de laboratorio de una perforación dependerá, en la mayoría de los casos, de la identificación geológica de los materiales.

En el grupo de edificios industriales se incluyen almacenes, garajes, naves de fábricas y salas de espectáculos. Estas estructuras son de una altura considerable, aunque, en general, de sólo uno o dos pisos; pueden tener techos pesados y cargas murales pesadas. En las naves de fábricas, las cargas en los pisos pueden ser muy pesadas y necesitarse cimientos individuales para las máquinas pesadas; además de las cargas vivas y muertas usuales, puede ser necesario considerar los efectos de vibración producida por la maquinaria en la nave o por el movimiento cercano del transporte



ferroviario de mercancías o por camiones pesados rodando sobre las carreteras adyacentes.

A causa de la gran área, generalmente cubierta por edificios industriales, las condiciones del suelo pueden cambiar materialmente de un lugar a otro de la superficie de edificación. Por ello deberán llevarse a cabo suficientes perforaciones para localizar los posibles cambios importantes en los materiales subterráneos, particularmente donde se tienen que colocar en el suelo las cargas concentradas. Es de interés el nivel freático del agua, ya que puede causar el levantamiento del piso, que está colocado directamente sobre el suelo en estos edificios, o puede producir basculamientos en los cimientos o dificultades en la excavación.

## 2. MAPAS GEOTÉCNICOS

Hemos visto anteriormente los problemas que plantea la Geología a las obras de ingeniería y el alcance que tienen los mismos en el momento de proyectar las obras.

Estas circunstancias han dado lugar al nacimiento de una ciencia nueva, la Geotecnia, y ésta ha empezado a desarrollarse en distintos países del mundo.

Europa sintió también esta necesidad, y en países de un nivel técnico elevado se desarrollaron métodos para el establecimiento de mapas geotécnicos que sirvieron de base a los proyectistas.

Estos métodos se han ido perfeccionando y contamos en el momento actual con una historia de la metodología a seguir para el levantamiento de mapas geotécnicos, que aparece, de forma resumida, en un artículo de la revista «Sols» y que adaptada a los límites de este artículo expongo a continuación.

### 2.1. *Ensayo de mapa geotécnico*

Los problemas o incidentes sobrevenidos en el momento de la ordenación efectiva de ciertos centros urbanos, ponen en evidencia la necesidad de hacer intervenir en el anteproyecto los datos relativos al suelo y al subsuelo de la región considerada. Ahora bien, en el momento actual, los organismos encargados de la Ordenación y Urbanización del Territorio, no disponen de otros mapas que los geológicos a 1:50.000 y 1:80.000, que son ante todo estratigráficos y no pueden suministrar la información requerida por los proyectistas; citemos, sin embargo, para su conocimiento, la existencia de un mapa a 1:1.000 de las canteras de París y de sus alrededores, que hace mención de ciertos terrenos de cobertura, así como de las consolidaciones, efectuadas con motivo de nuevas construcciones, y las cartas de Delesse relativas a la hidrología de París. Más recientemente, en 1953, el Ingeniero General Brian-

court ha establecido un mapa geotécnico con vistas a la reconstrucción de Boulogne-sur-Mer.

Fue con el fin de rellenar esta laguna por lo que el Departamento de Geología Aplicada de la Oficina de Investigaciones Geológicas y Mineras ha emprendido una investigación bibliográfica en la literatura alemana y checa, que ha puesto al descubierto métodos completos de cartografía geotécnica, elaborados y puestos a punto desde hace diez años.

Utilizando los principios de estos métodos hemos realizado un mapa geotécnico, esperando que este nuevo aspecto de la geología aplicada al arte del Ingeniero, conozca un desarrollo fructuoso.

Este artículo trata en primer lugar de los diferentes métodos puestos en práctica en la Alemania del Este. Expone a continuación, de una manera más detallada, los métodos de representación gráfica de los checos (Pasek, Rybar y Simek). Comenta, en fin, un extracto del mapa realizado por la Oficina de Investigaciones Geológicas y Mineras en la región parisina utilizando los procedimientos más recientes, y que nos han parecido los más rápidos y más eficientes en todos los tipos de terrenos.

## 1. LOS MAPAS GEOTÉCNICOS EN ALEMANIA. HISTORIA Y PRINCIPIOS DE REALIZACIÓN.

### 1. *Los primeros mapas.*

Fue en el curso de la Exposición Técnica de la Construcción de Leipzig, en 1913, cuando fueron presentados por primera vez los planos de construcción acompañados de mapas geotécnicos indicando las condiciones de cimentación. Estos mapas concernían a las villas de Attenburg, de Erfurt, de Frankfurt, de Gera Halls, Danzing, y algunas otras.

Su presentación realizada por Langen es muy simple: trazas de color y signos convencionales indican las zonas inundables, las zonas donde la capa freática está a menos de un metro de profundidad, las minas y las canteras, etcétera. En un fascículo descriptivo adjunto a los mapas, se pueden encontrar resultados de sondeos efectuados, sea para el reconocimiento geotécnico, sea para las investigaciones de agua.

### 2. *El método de Moldenhauer (1919)*

Moldenhauer expone en «Conversión del mapa geológico de la villa de Danzig en un mapa geotécnico», una técnica nueva cuyo éxito no estará asegurado más que a partir de 1926. Esta técnica es importante desde el punto de vista histórico, porque es el origen de métodos más recientes.

Tenemos poca información sobre este mapa, pero sabemos que el autor divide el terreno en varios tramos en función de la profundidad: 0 a 2; 2 a 4; 4 a 6; 6 a 10 m. Presenta el resultado de las investigaciones en dos mapas: un mapa de emplazamiento de sondeos (660 solamente para la villa de Danzig) y un mapa geotécnico propiamente dicho, sobre el cual, desgraciadamente, no tenemos ninguna información.

### 3. *El método de Stremme-Ostendorff (1932)*

Stremme publica un conjunto de mapas estudiados por Ostendorff que tratan, por una parte, de la geología, y de otra, del estudio geotécnico.

En la parte geológica existen tres mapas que se refieren respectivamente «a las rocas y a los suelos útiles», «a las aguas subterráneas y de escorrentía» y «a los terrenos de construcción». Para el último de estos mapas es utilizado el esquema de Moldenhauer (división en función de la profundidad). En cuanto al mapa geotécnico, se establece a partir de datos sobre las cargas de trabajo admisibles, los contenidos en agua y las posibilidades de deslizamientos de suelos.

### 4. *El esquema de Müller (1938)*

Las publicaciones de Müller sobre el estudio cartográfico del término de Marke se componen de:

- Un mapa de distribución superficial de suelos.
- Un mapa interpretativo de los terrenos para la construcción.
- Un mapa hidrogeológico.
- Un mapa de tratamiento de suelos para su mejora.
- Por fin, de un mapa para uso de la planificación.

La aptitud de los distintos terrenos como soporte de construcción, se pone en evidencia por la escala de colores siguientes:

El verde y el amarillo corresponden a buen terreno de construcción. La carga de trabajo admisible no es inferior a 2,5 bares.

El naranja corresponde a terrenos de calidad media.

Las franjas anaranjadas a terrenos *a priori* poco favorables, donde las condiciones hidrológicas, variables, imponen prestar una atención especial a las cimentaciones. Sin embargo, las cargas de trabajo admisibles no sufren restricciones.

El rojo corresponde a terrenos malos que necesitan cimentaciones o fundaciones especiales costosas.

Sobre la carta de suelos cada tipo de suelo está representado por un color. Las franjas negras y signos convencionales coloreados designan propiedades características morfológicas, físicas y químicas (como contenido en CO<sub>2</sub>, humedad, etc.) de cada uno de ellos.

### 5. *El método de Groschopf*

Un método de representación diferente, ha sido utilizado en 1951 por Groschopf, para la región de Ulm. El resultado de sus estudios está expuesto en tres mapas, que son:

Un mapa geológico en el cual los diversos afloramientos se designan por colores y el substrato por letras.

Un mapa sobre el cual aparece la repartición de las cargas de trabajo máximas de los suelos.

Un mapa indicando la repartición de velocidades de asentamiento.

### 6. *Gwinner y las unidades geotécnicas*

En 1956, con ocasión de establecer la carta geotécnica de la villa de Göttingen, Gwinner define las unidades geotécnicas como conjuntos de terreno cuyo comportamiento desde el punto de vista de la Mecánica de suelos es idéntico aunque bien pueden estar presentes, en el interior de cada unidad, diferentes tipos de suelos o de rocas. Las condiciones de fundación o cimentación, las variaciones del contenido en agua, las posibilidades del tratamiento y las cargas de trabajo admisibles, medidas según la norma DIN 1.054, son examinadas en cada caso.

El mapa de Gwinner está presentado de tal manera que las unidades geotécnicas típicas de características técnicas determinadas aparecen con mucha claridad.

Para llegar a este resultado, hace las siguientes divisiones (exponemos una leyenda real de un mapa establecido por Gwinner):

- A) Zonas sin asentamiento de cimentación directa.
  - a) Roca favorable situada bajo una cobertura de dos metros de potencia.
  - b) Roca que se presenta con una pendiente de 25 a 30 por 100 alterada en profundidad.
  - c) Arena y arena arcillosa.

B) Zonas donde la consistencia y la compacidad del suelo aumenta con la profundidad.

- d) Más de dos metros de arcilla y loes.
- e) Más de dos metros de arcilla y loes pero con aguas estancadas.
- f) Suelos muy húmedos.
- g) Arcillas y margas del Keuper.

C) Zonas de terrenos blandos o alternancias de lechos duros y blandos.

h) Suelos que necesitan fundaciones o cimentaciones profundas en razón de capas superficiales compresibles.

D) Zonas de posibles deslizamientos.

i) Arcillas y margas del Keuper y del Lias con pendientes fuertes.

E) Zonas no diferenciadas sobre el mapa.

j) Depósito morrénico periglaciario (pendiente 10 a 30 por 100) sobre un substrato de naturaleza desconocida.

En este método, los datos físicos están estrechamente ligados a los datos geológicos de tal manera que los mapas de Gwinner constituyen para el ingeniero un documento particularmente útil.

#### 7. La clasificación de Benz (1951)

Entre otros ensayos de mapas geotécnicos figura el de Benz para la villa de Stuttgart.

El principio de la subdivisión del mapa en zonas, responde aquí ante todo a los ensayos de Mecánica de suelos. En efecto, las capas o conjuntos de capas son examinados desde el punto de vista de su valor técnico para la construcción.

Se miden así, en particular, los valores de las cargas de trabajo según las cuales se definen las siguientes categorías:

- Terreno bueno: carga de trabajo admisible de 3,5 a 5 bares.
- Terreno favorable: carga de trabajo admisible de 2 a 4 bares.

Terreno medio: carga de trabajo admisible de 1,5 a 3 bares.

Terreno poco favorable: carga de trabajo admisible de 0,75 a 1,9 bares.

Mal terreno: carga de trabajo admisible de 0,3 a 0,8 bares.

#### 8. El sistema Graupner

Graupner vuelve al modelo de tres mapas y tres ficheros ya utilizados parcialmente por sus predecesores. Los tres mapas se refieren respectivamente a la situación de sondeos, a la hidrología y a las zonas de construcción. Se hace una ficha para los sondeos, otra para los trabajos hidrológicos y una tercera para los trabajos de construcción, ensayos, etc.

La escala adoptada para los planos de urbanismo, en el campo del reconocimiento, es en general de 1:10.000. Sin embargo, para resolver problemas particulares, Graupner aconseja la realización de mapas a escala 1:1.000.

Estos ejemplos, que son incompletos, muestran la evolución de la metodología de los mapas geotécnicos que se caracterizan por la introducción y utilización progresiva de datos físicos y técnicos, capacidad portante de suelos y asentamientos, principalmente.

Resulta que estos mapas suministran un análisis detallado de la sucesión de capas o niveles cuyas características se definen más por sus propiedades mecánicas que por su edad.

Así, por tanto, el mapa geotécnico se diferencia notablemente del mapa geológico habitual.

#### II. LOS MAPAS GEOTÉCNICOS CHECOS.

En las publicaciones editadas por los países socialistas del Este, aparece que son los checos los que han estudiado y puesto en práctica los sistemas más perfectos de representación de mapas geotécnicos. El sistema de Zebera, el más antiguo (1947), ha sido modificado y mejorado por ciertos autores como Pasek y Rymar, y sobre todo por Simek, Profesor de la Universidad de Praga.

##### 1) Principio de realización de Pasek y Rybar

Estos autores consideran que un mapa geotécnico es ante todo un buen mapa geológico. Sin embargo, al lado de información sobre la repartición en superficie de los suelos o rocas, el mapa geotécnico debe poner de relieve en diferentes puntos la repartición vertical de las formaciones y esto, al menos hasta profundidades donde los efectos de las construcciones se dejan sentir.

Los factores que se deben tomar en consideración para el establecimiento de mapas geotécnicos son: la morfología, la estabilidad de terrenos, los datos hidrológicos, las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, y de las rocas, etc. Pero como no es posible representar todos estos datos sobre un mismo mapa, el mapa geotécnico llevará un cierto número de hojas constituyendo un conjunto indivisible.

El mapa geotécnico establecido por Pasek y Rybar se compone de tres hojas, un fichero de documentación, cuadros con los resultados numéricos y una memoria explicativa.

#### A) *El mapa geológico.*

El mapa geológico presenta las formaciones hasta la profundidad de 10 m., ya se trate del substrato o de capas superficiales.

##### a) El substrato (rocas o capas geológicas «in situ»).

Los terrenos que constituyen el substrato se representan por franjas coloreadas. Varias formas de representación (franjas continuas, franjas discontinuas, cuadrículadas, etc), permiten diferenciar las rocas según su naturaleza. Los límites entre estas figuras representan los límites litológicos que existen al techo del substrato; estos son los que aparecen habiendo quitado las formaciones superficiales. En el caso más complejo en que una segunda capa formando parte del substrato está situada a una profundidad inferior a los 10 m., debe representarse; se utilizan franjas de otro color.

Los límites de esta segunda capa son los que aparecerían sobre una sección horizontal situada a 10 m. de profundidad.

La elección de una diferenciación más o menos densa permite la superposición de franjas de colores diferentes sin perjudicar la claridad del mapa.

##### b) Las capas superficiales (aluviones, rellenos, depósitos artificiales, etc.).

Se representan por zonas coloreadas unidas. A cada tipo de sondeo se le afecta de un color determinado cuya intensidad o tono varía en función del espesor del suelo considerado. Cuando este espesor aumenta el tono se hace más oscuro.

Se distinguen los tres espesores de capa siguientes:

0,8 a 2,0 m.

2,0 a 5,0 m.

5,0 a 10,0 m.

Se trazan las líneas de igual espesor.

En el caso más simple (caso de una sola capa superficial), se realiza el mapa de formaciones de cobertura que es después superpuesto al mapa de substrato precedentemente definido. En las zonas donde el substrato aflora, aparece sobre el mapa solamente las franjas correspondientes al tipo de roca encontrado. Por el contrario, en zonas donde las capas superficiales tienen un espesor superior a 10 m., las franjas del substrato no aparecerán.

Pero en general, se está en presencia de capas superficiales superpuestas y para representarlas todas, es necesario acudir al sistema de bandas cruzadas.

Si para la primera capa se mantiene el sistema definido anteriormente (superficie coloreada), la segunda capa por el contrario se representa por bandas verticales, la tercera por bandas horizontales, etc.

El color de la banda corresponde a la naturaleza del terreno que ella representa, de la misma forma que el ancho de la banda corresponde a su espesor.

Así:

Un ancho grande indica el mayor espesor (5 a 10 m.).

Un ancho medio indica un espesor medio (2 a 5 m.).

Una banda estrecha y discontinua indica espesores pequeños (inferior a 2 m.).

En los casos complejos se encontrará, por tanto, en las zonas coloreadas uniformemente, bandas horizontales o verticales correspondientes a la segunda y tercera capa.

Para facilitar la lectura del mapa, Pasek y Rybar añaden cifras romanas en las zonas de igual espesor. Las cifras entre paréntesis indican que el espesor de la 1.ª capa no ha sido confirmado por sondeo. En este caso, los límites entre dos espesores se trazan de puntos.

Sobre el mapa geotécnico completo, es decir, el que resulta de la superposición del mapa del substrato y del de las formaciones superficiales, se aplica una hoja transparente que contiene los signos convencionales: las formas del terreno tales como acantilados, zonas de deslizamiento, fisuras, etcétera, así como los fenómenos que pueden tener una influencia desfavorable sobre las condiciones de cimentación, se indican en rojo.

Los datos hidrológicos se representan en azul.

Características excepcionales, como por ejemplo una alteración de la roca que afecta a una profundidad importante, se indican en negro.

Otros signos convencionales sitúan las canteras, pozos, yacimientos de arcilla, etc.

En fin, las regiones en que se estima que existen reservas de minerales o de sustancias útiles, o que corresponden a zonas de reserva, se rayan en violeta.

### B) *El mapa de documentación.*

Este mapa permite situar todas las observaciones puntuales a partir de las cuales se ha podido levantar el mapa geológico: las canteras abandonadas o en explotación, los sondeos, los pozos, etc. Todos estos puntos se representan en negro acompañados de observaciones en color cuando se ha ejecutado en ello ensayos de mecánica de suelos («in situ» o en muestras). Igualmente cuando se han efectuado investigaciones hidrológicas superficiales o subterráneas (bombeo, análisis de agua, etc.).

### C) *El mapa de divisiones geotécnicas.*

El mapa geológico no contiene más que observaciones sobre la forma en que se presentan los yacimientos de rocas del substrato y los diferentes suelos que componen las formaciones superficiales; sin embargo, no aparecen generalmente las condiciones de cimentación.

La interpretación indispensable se realiza sobre el mapa de divisiones o unidades geotécnicas, sobre el cual se ponen en evidencia las zonas que son más o menos aptas para la construcción.

Pasek y Rybar distinguen:

- Zonas favorables.
- Zonas aceptables.
- Zonas desfavorables.

Estas divisiones se definen no solamente por los datos sobre la superposición de diferentes capas y por sus propiedades mecánicas, sino también teniendo en cuenta los elementos morfológicos y morfodinámicos.

El mapa de unidades geotécnicas se representa sobre papel transparente y puede ser superpuesto a los mapas geológicos y de documentación. Las zonas favorables para la construcción se marcan en verde, las zonas aceptables en azul y las zonas desfavorables en rojo.

El empleo de cifras romanas (I-III) permite mejorar la claridad del mapa. A veces se utilizan subdivisiones en zonas.

### D) *Ficheros y cuadros.*

A cada punto de observación corresponde una ficha en la cual se anotan los detalles de cada corte geológico y todos los ensayos mecánicos o hidrológicos.

Además, para permitir encontrar aisladamente una información precisa, se reúnen en un cierto número de cuadros los principales resultados obtenidos, principalmente en lo que concierne a ensayos de laboratorio o «in situ».

### 2) *Método de Zebera (1947)*

El método de Zebera, importante en la historia de los mapas geotécnicos, es anterior al de Pasek y Rybar que hemos descrito, pero ambos métodos son muy parecidos. La diferencia entre ellos no estriba más que en el modo de representación.

En efecto, en el sistema de Zebera, la anchura de las bandas es función de la profundidad de la capa bajo la superficie del suelo y no de su espesor.

Este método parece ser que no se utiliza actualmente. Por lo cual hemos juzgado suficiente su mención.

### 3) *Método de R. Simek (ver figs. 1, 2 y 3).*

El método de Pasek y Rybar ha sido frecuentemente empleado en Checoslovaquia para la realización de mapas geotécnicos. Sin embargo, el desarrollo de las técnicas modernas, combinado con la exigencia de los constructores, ha mostrado su insuficiencia. También han sido aportadas mejoras importantes en 1959 por R. Simek, Profesor de Geología en la Academia de Praga, con motivo de la cartografía a escala 1:5.000 del distrito de Praga.

El mapa geotécnico concebido por Simek agrupa los documentos siguientes:

- Un mapa geológico.
- Un mapa hidrogeológico.
- Un mapa de documentación.
- Un mapa de interpretación general.
- Un fichero de documentación y cuadros con datos mecánicos.

### A) *El mapa geológico.*

#### a) *El substrato.*

Las formaciones que constituyen el substrato se representan por símbolos de color marrón; los límites de estas formaciones están tanto más espaciados

cuanto mejores son sus características técnicas. Las franjas estrechas indican, por tanto, un suelo de mala calidad.

Cuando el substrato se encuentra a una profundidad superior a 10 m., las líneas se dibujan con trazo discontinuo.

Los límites entre las diversas formaciones se trazan con trazo lleno cuando son seguros, y con trazo discontinuo cuando son supuestos.

En fin, el mapa encierra todas las indicaciones sobre buzamiento de las capas, accidentes tectónicos, etc.

b) Las formaciones de cobertura o superficiales (fig. 1).

La representación de las formaciones de cobertura, hasta 10 m. de profundidad, se hace por el método de bandas cruzadas.

La primera capa se representa por un color determinado correspondiente a los diferentes tipos de terreno. La segunda capa se representa por bandas horizontales, la tercera por bandas verticales, pero estas bandas tienen, en oposición al método de Fasek y Rybar, siempre el mismo espesor.

Con bandas inclinadas, se podrían teóricamente dibujar cinco clases de terreno diferente, pero es de sentido común que podría disminuirse la claridad del mapa. En general, el espesor de la banda es de 2 mm. El espesor de las distintas formaciones se indica por medio de cifras romanas que se imprimen tanto en las superficies de afloramiento de la primera capa como en las bandas. La designación de los espesores se hace de acuerdo con el siguiente cuadro:

Espe- sor	0-1 m.	0-2 m.	0-3 m.	0-5 m.	0-10 m.	
Capa 1. <sup>a</sup> superficie coloreada..	I	II	III	V	X	superficie coloreada
Capa 2. <sup>a</sup> bandas horizontales..		II	III	V	X	
Capa 3. <sup>a</sup> bandas verticales...		II	III	V	X	

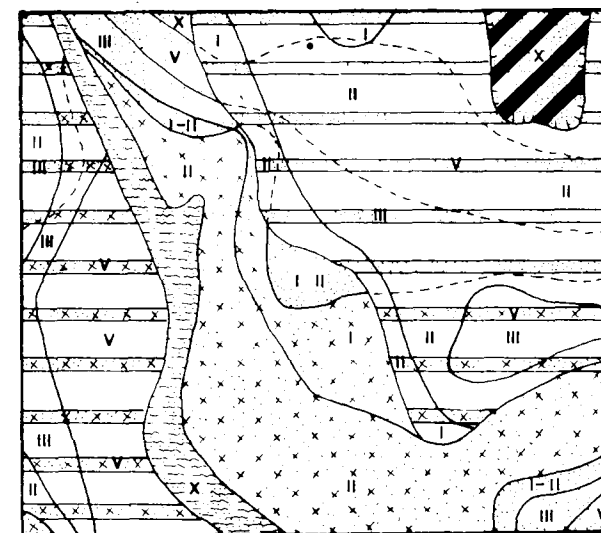
Los límites entre los tipos de terreno de la primera capa se representan por trazo negro continuo grueso. Para la segunda capa se utiliza trazo discontinuo, por fin, para la tercera capa línea de puntos.

En lo que concierne a líneas de igual espesor (isopacas) se dibujan de la misma forma (líneas continuas para la primera capa, etc.) pero el espesor del trazo es más fino.

Se trazan las curvas de igual espesor siguientes: 1 m., 2 m., 3 m., 5 m. y 10 m.

Un símbolo especial se adopta para los terraplenes que se marcan con franjas rojo vivo gruesas. Se indica igualmente su altura.

En resumen, sobre el mapa geológico de Simek aparecen los elementos siguientes:



0 100 200 300m

Método de Simek. — Mapa de formaciones superficiales

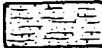
-  Arena y arrastres fluviales
-  Aluviones arcillosos
-  Loess y arcilla loésica
-  Arena y arena arcillosa (arenisca disgregada)
-  Relleno
-  Excavación rellena

Fig. 1

En marrón, las formaciones del substrato.

En color, las superficies y las bandas correspondientes a las formaciones superficiales.

En negro, todos los signos convencionales y trazos (isopacas, etc.).

En rojo, los terraplenes eventuales.

La figura núm. 1 se refiere a un sistema de dos capas.

B) *El mapa hidrogeológico (figura núm. 2).*

Da una información sobre el reparto de las aguas de superficie y de los mantos subterráneos, así como sobre la agresividad de las aguas y la permeabilidad de los terrenos.

La menor profundidad a la cual se puede encontrar el manto freático se representa por una curva de nivel negra y gruesa. Las superficies del mapa limitadas por las curvas de igual profundidad del manto de agua (1 m., 2 m., 3 m., 5 m. y 10 m.) se colorean en azul con tonos cada vez más oscuros.

Desde el punto de vista de permeabilidad, se distinguen tres categorías:

- las rocas permeables en pequeño que contienen niveles de aguas permanentes;
- las rocas con permeabilidad de fisuras o permeables en grande, tales como las calizas, los esquistos, etc., en las cuales el nivel del manto es irregular;
- las rocas impermeables.

En los medios permeables, las líneas isohipsas del manto se indican con línea de trazo.

La agresividad de las aguas hacia los materiales de construcción se indica con círculos en los emplazamientos donde ha tenido lugar la toma de muestras.

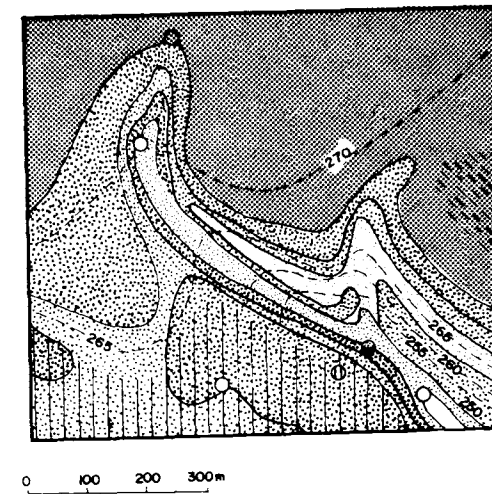
En fin, con la ayuda de signos convencionales, se pone en evidencia el sentido de la corriente de las aguas, los terrenos inundables, etc.

C) *El mapa de documentación.*

Sobre el mapa de documentación se representan los sondeos, los pozos de prospección, las excavaciones, etc. Los sondeos que han alcanzado el substrato llevan un signo peculiar.

D) *El mapa geotécnico.*

Este mapa se establece partiendo de los datos geológicos e hidrológicos anteriormente definidos, y haciendo intervenir las características morfodinámicas de los suelos.



Extracto de un mapa hidrológico de Simek.

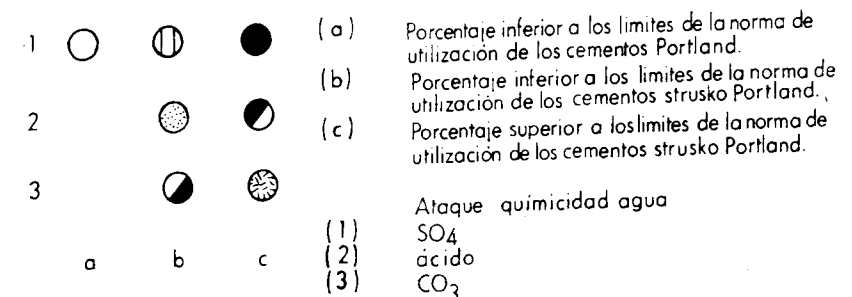
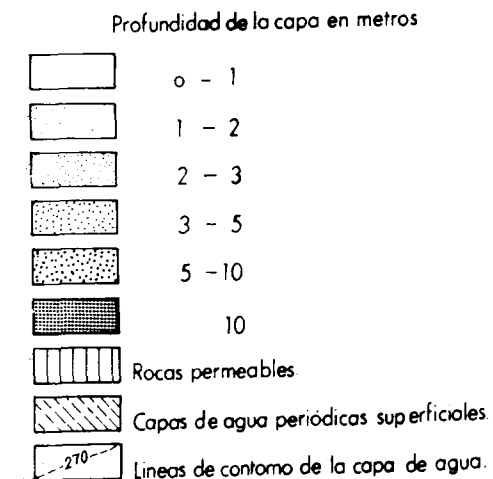


Fig. 2



Se levanta con un fin bien determinado, por ejemplo: investigación de zonas de construcción por plantabandas anchas de 1 m., fijadas a 1 m. de profundidad y trabajando a 2 bares. Simek ha distinguido sobre un mapa especialmente estudiado a este efecto las divisiones siguientes:

- terrenos muy favorables a la construcción, substrato a menos de 1 metro de profundidad;
- terrenos favorables, la capa superior de alteración tiene 2 metros de espesor;
- terrenos aceptables, la capa superior de 3 metros de espesor;
- terrenos utilizables bajo ciertas condiciones, por ejemplo, con una carga de trabajo más reducida pero superior a 1,2 bares o mediando cimentaciones más profundas;
- terrenos desfavorables, movimientos de tierras superiores a 3 metros, buzamientos de capas desfavorables.

A cada una de estas divisiones corresponde un color apropiado: se obtiene así un mapa fácil de consultar y de cómoda utilización.

E) *El fichero de documentación y los cuadros.*

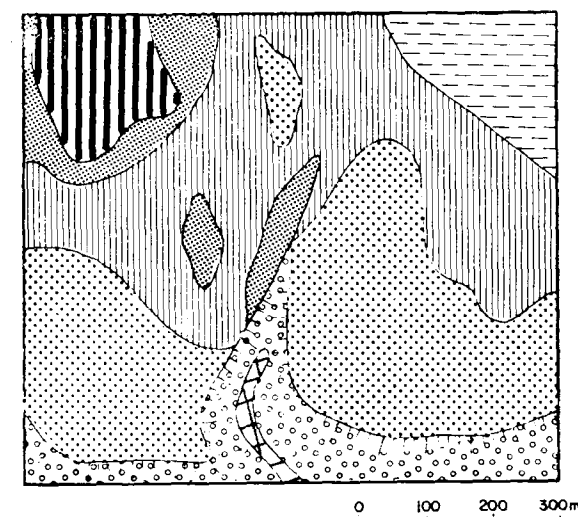
Contienen el inventario de todos los datos tanto geológicos, como hidrogeológicos y geotécnicos.

III. ENSAYO DE MAPA GEOTÉCNICO REALIZADO POR EL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA APLICADA DE LA OFICINA DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS Y MINERAS (B. R. G. M.).

El desarrollo urbano e industrial que caracteriza de una manera general a los grandes centros y más particularmente a la Región parisina, ha llevado al Departamento de Geología Aplicada de la Oficina de Investigaciones Geológicas y Mineras a establecer, con carácter experimental, un mapa geotécnico. Este mapa ha sido levantado en los alrededores de Ecouen a escala 1:10.000. Los métodos checos de representación gráfica han servido de base para el establecimiento de los diferentes documentos como se indica a continuación.

Los trabajos realizados han sido los siguientes:

- Levantamiento de un mapa geológico detallado.
- Realización de sondeos a mano para precisar ciertos contactos y determinar los terrenos de cobertura.



Extracto de un mapa "Unidades Geotécnicas" por Simek.

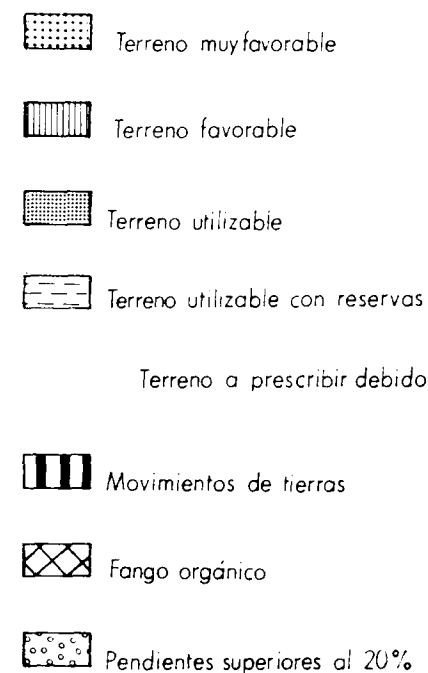


Fig. 3

— Realización por la Sociedad de Estudios Presiométricos Luis Ménard de sondeos con ensayos presiométricos sistemáticos cada metro.

— Identificación en el laboratorio de un cierto número de muestras recogidas durante la campaña (granulometría, límites de Atterberg).

Ellos nos han llevado a la elaboración de los siguientes documentos:

1) *El mapa topográfico*

Resulta del aumento de un mapa a 1:25.000 con curvas de nivel.

2) *El mapa de documentación e hidrogeología (fig. 4)*

Sobre este mapa se han llevado las diferentes fuentes de información a partir de las cuales se han podido elaborar los mapas siguientes. Se trata en particular de todos los sondeos con o sin ensayos geotécnicos, de las canteras o excavaciones naturales o artificiales, etc.

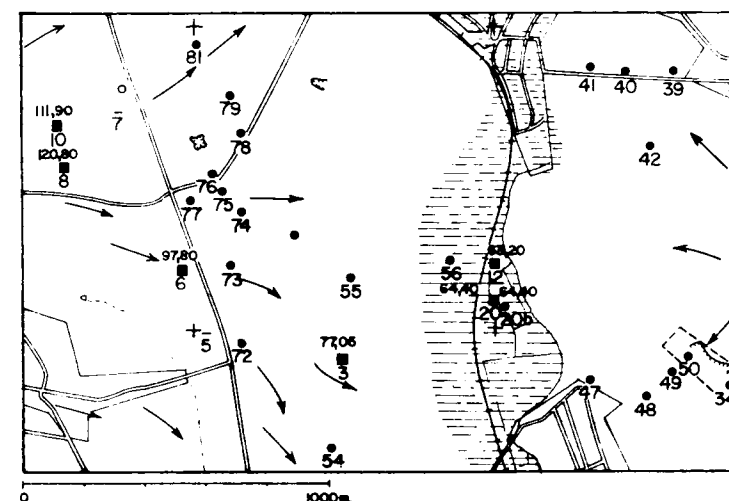
A cada sondeo, o punto de observación, le corresponde una ficha del tipo de la figura 5. Ella recapitula el conjunto de informaciones obtenidas de orden geológico y geotécnico.

El fichero que nosotros hemos así constituido recoge todos los trabajos que se han realizado en esta región, sea por nosotros mismos, sea por la Sociedad de Estudios Presiométricos Luis Ménard, sea por los Servicios de Obras Públicas.

Entre los sondeos efectuados especialmente para la elaboración del mapa geotécnico, un cierto número se han realizado a mano y han alcanzado una profundidad entre los 4 y 7 m.

Otros sondeos se han realizado por línea de un tubo continuo liso abierto y han dado lugar a ensayos presiométricos. Hemos estimado en efecto que este método, que permite obtener en la mayoría de los casos un desmuestre suficiente para el examen geológico y para los ensayos de identificación, era particularmente interesante por el hecho de su rapidez de realización y por las informaciones geotécnicas «in situ» que aporta.

En lo que concierne a la hidrología, no nos ha sido posible desgraciadamente, por el momento, realizar un mapa hidrogeológico porque los datos sobre las aguas superficiales son insuficientes. Las observaciones hidrogeológicas se han llevado provisionalmente sobre el mapa de documentación, en azul.



Mapa "Información e Hidrología"

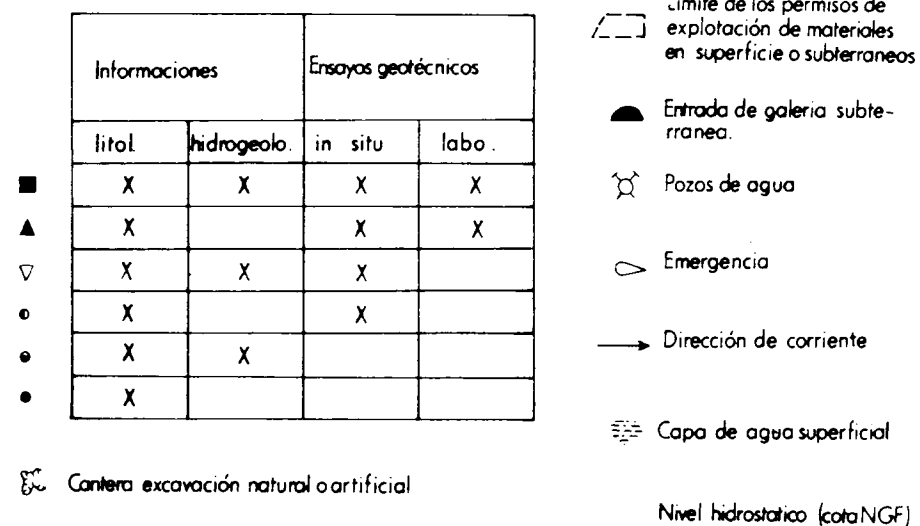


Fig. 4

NR	F	T	SI	Sc	NH	Ch	Ep	FECHA	HOJA 1:50,000				
■	Pe	Pr	Ei	Es				CORTE NR	X =				
								ESCALA	Y =				
									Z =				
CORTE GEOLÓGICO — ESCALA 1:200					ENSAYOS DE IDENTIFICACION								
PROF.	CORTE	DESCRIPCION	FORMACION	PROF.	CO <sub>3</sub> Ca	LL	LP	IP	W	K	Cu	D <sup>10</sup>	CLASIFICACION
AGUA A				NGF =									
ENSAYOS			PRESIOMETRICOS		PENETROMETRICOS		CIMENTACIONES						
PROF.	E (Bares)	pl (Bares)	UTIL	Rp (Bares)	TIPO	PROF.	PLACA 1x10m <sup>2</sup> qo (Bar)	W (cm)	POZO 1,20 m qo (Bar)	W (cm)	PILOTO 40x40cm qo (t)	W (cm)	
OBSERVACIONES													

Fig. 5

## 3) El mapa geológico

El mapa geológico se ha realizado en dos fases:

Una concierne al substrato geológico.  
Otra, a las formaciones superficiales.

## a) El mapa del substrato (fig. 6).

Las series geológicas que se han encontrado son las siguientes, con su notación convencional (mapa geológico de Francia a 1:50.000):

Arenosas: arenas de Fontainebleau: g<sup>2b</sup>.  
arenas de Beauchamp: e6<sup>a, b0</sup>.  
arenas de Monceau: e 6°.

Margosas: margas verdes: g<sup>1a</sup>.  
margas suprayesíferas: e<sup>7b</sup>.

Margosas y yesíferas: margas de yesos: e<sup>7a</sup>.

Yesíferas: masas de yeso: e<sup>6c</sup>.

Calizas: caliza de Saint-Ouen: e<sup>6d</sup>.

Con las informaciones obtenidas por sondeos y sabiendo que la estructura geológica de esta región es prácticamente horizontal, los contactos entre las diferentes formaciones han podido ser trazados con suficiente precisión.

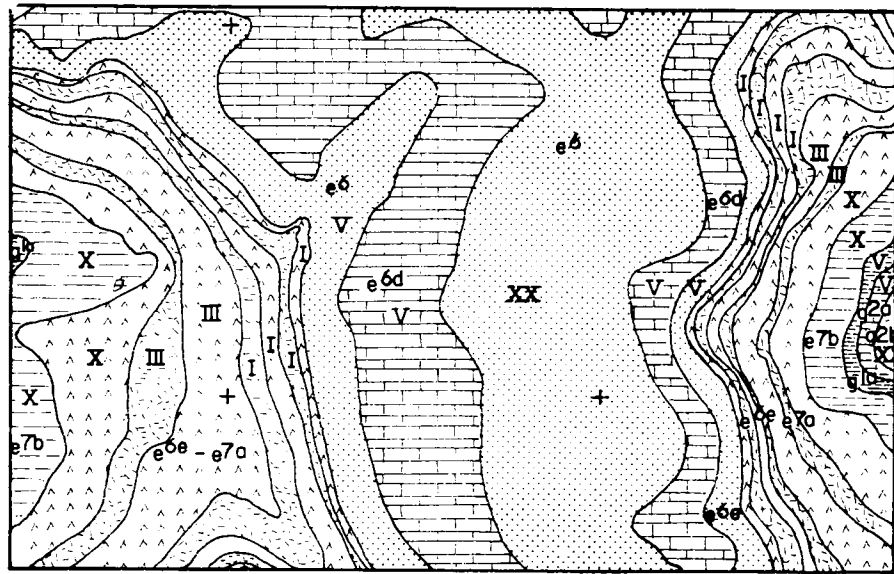
El espesor de las formaciones se indica por una cifra romana:

- I Espesor comprendido entre 1 y 3 m.
- III Espesor comprendido entre 3 y 5 m.
- V Espesor comprendido entre 5 y 10 m.
- X Espesor comprendido entre 10 y 15 m.
- XV Espesor comprendido entre 15 y 20 m.
- XX Espesor superior a 20 m.

## b) El mapa de formaciones superficiales (fig. 7).

Las formaciones superficiales en presencia son las siguientes:

Limos: se trata principalmente de limo de plataforma, que recubre una gran parte del territorio.



Mapa "Litología del Substrato"

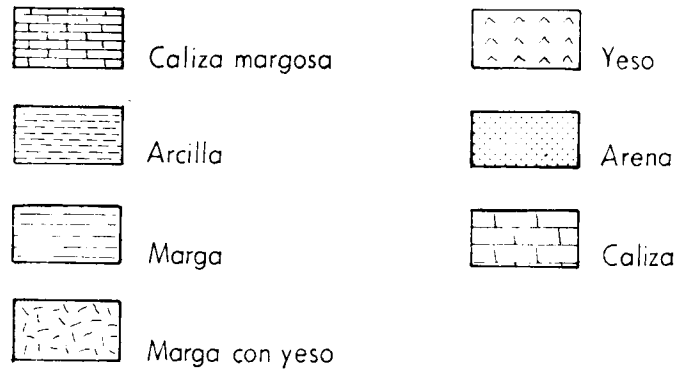
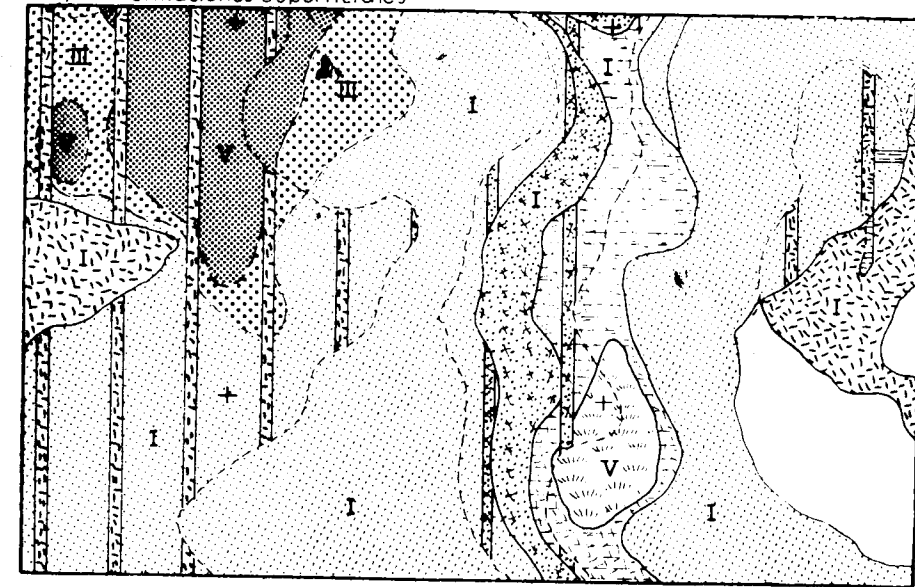


Fig. 6

Mapa "Formaciones Superficiales"



Limite	Capa		
	nº 1	nº 2	nº 3

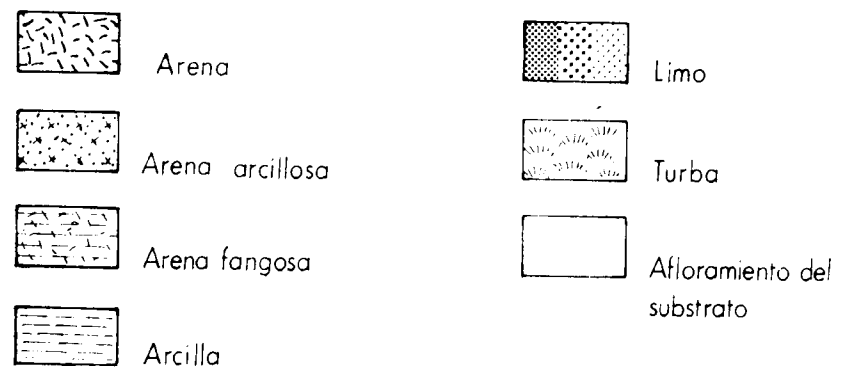


Fig. 7

Arcillas: se trata de arcillas arrastradas sobre las pendientes.  
 Arenas: son arenas que provienen de las arenas de Fontainebleau principalmente.  
 Arenas arcillosas: son arenas de Beauchamp rodadas.  
 Arenas limosas: de origen aluvial.  
 Turba: se encuentra a veces en los lechos aluvionares.

La representación de las formaciones superficiales se ha realizado por el método de bandas cruzadas.

Las superficies coloreadas continuas corresponden a la 1.ª capa.  
 Las bandas verticales se refieren a la 2.ª capa, las bandas horizontales a la 3.ª capa.

El espesor de los terrenos se indica con cifras romanas.  
 Las variaciones de espesor se señalan por variaciones de tono de los diferentes colores utilizados para representar las formaciones.  
 Las zonas que quedan en blanco sobre el mapa, corresponden a las zonas donde aflora el substrato.

4) El mapa de interpretación (fig. 8)

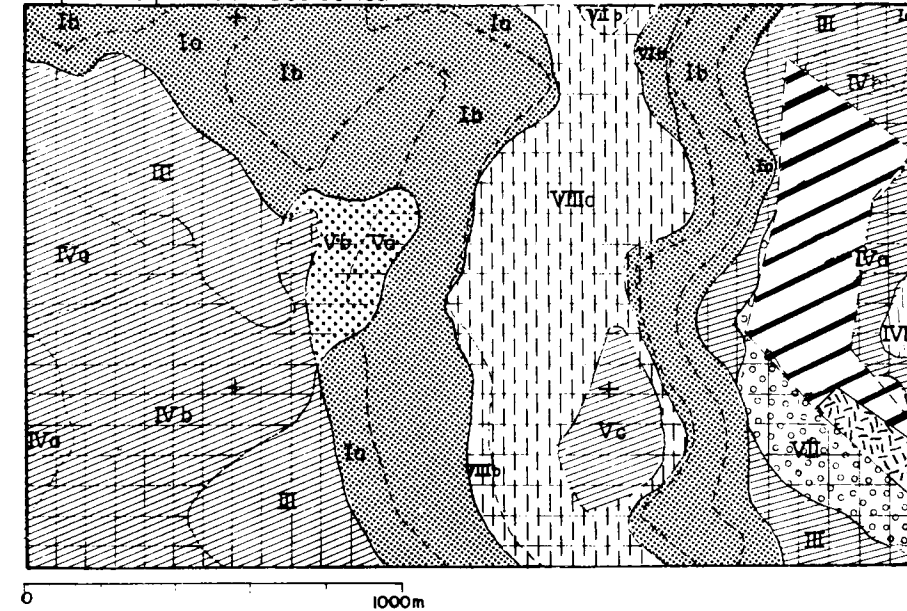
La superposición de los diferentes terrenos, su naturaleza litológica, sus características geotécnicas y geomorfológicas, y la presencia o no de un manto de agua, nos han llevado a distinguir sobre el mapa un cierto número de zonas o de subzonas, cuya aptitud para la construcción es variable.

El color verde indica que en conjunto las zonas son favorables para la construcción. En rojo se indican los lugares en que existen actualmente canteras subterráneas en explotación, y en franjas rojas se indican los lugares donde las explotaciones subterráneas podrían proseguirse y que no deberían, por tanto, ser urbanizadas.

Los trazos horizontales negros indican que puede haber sobre el plano de la cimentación, un problema de orden geológico o hidrogeológico entre 0 y 5 m. de profundidad. Los trazos verticales indican la posibilidad de un problema del mismo tipo por debajo de 5 m. de profundidad. Para cada zona, establecemos una ficha recapitulando las características geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas (fig. 9). Esta ficha contiene, a título de ejemplo, el cálculo de las cargas de trabajo y de los asentamientos para una placa de basamento de 1 m. de ancho, de 10 m. de largo, cimentada sea a 1 m. sea a 4 m. de profundidad así como, en ciertos casos, los pilotes o pozos.

Es evidente que estos resultados no se dan más que a título indicativo y no suministran más que el orden de magnitud de las cargas admisibles en una zona. Es necesario, en cualquier caso, realizar estudios detallados adaptados a cada problema.

Mapa "Interpretación Geotécnica"



Valor constructivo de los terrenos

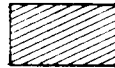


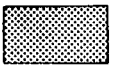



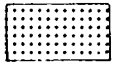
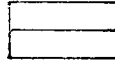
	Mediocre		Riesgos de problemas de orden geológico o hidrogeológico mas allá de 5m. de profundidad.
	A eliminar, salvo con trabajos de consolidación en profundidad.		Favorable
	Zona "no edificable" (explotaciones subterráneas)		Regular
	Extensión prevista para la explotación		Aceptable
	Problema de orden geológico o hidrogeológico entre 0 y 5m. de profundidad.		

Fig. 8

SONDEOS	SONDEOS CON ENSAYOS	ENSAYOS DE LABORATORIO	NIVELES HIDROLOGICOS	QUIMICA DE LAS AGUAS	ENSAYOS 'IN SITU'		ZONA
GEOLOGIA							
HIDROGEOLOGIA							
CARACTERISTICAS GEOTECNICAS							
OBSERVACIONES							

Fig. 9

## CONCLUSIÓN

Los mapas geológicos que existen actualmente, constituyen documentos muy insuficientes para poder ser utilizados eficazmente en el dominio de la geología aplicada. Estos mapas tienen poca información, en general, sobre las formaciones recientes (alteración, escombros, terraplenes, etc.), sobre los fenómenos morfodinámicos (deslizamientos, etc.) y sobre hidrología. La escala con la cual se han levantado (1:80.000-1:50.000) no se presta tampoco a las observaciones requeridas y no permite una precisión suficiente.

Era, por tanto, necesario realizar mapas de otro tipo, que sirvieran para una utilización más inmediata.

El estudio bibliográfico que el B. R. G. M. ha realizado muestra la evolución de los mapas geológicos en ciertos países. La mejora en la representación gráfica parece ser que ha llegado a un estado de perfeccionamiento interesante con el sistema de Simek.

Este método, con algunas variantes, es el que B. R. G. M. en colaboración con la Sociedad Ménard ha puesto en práctica para realizar su mapa geotécnico experimental.

Parece que esta nueva vía de investigación de datos geotécnicos, en la cual se ha empeñado el B. R. G. M., está llamada a conocer un desarrollo importante en relación con las preocupaciones de las colectividades locales o regionales, en el plan general de Ordenación del Territorio.

Recibido el 6 VI-67.

JOSE M.ª FERNANDEZ BECERRIL

## ESTUDIO DE CONCENTRACION DE LOS MINERALES DE HIERRO DEL SUROESTE DE ESPAÑA.- «ZONA DE CALA»

### RESUMEN

Los trabajos de investigación minera que el Instituto Geológico y Minero de España viene efectuando en el Suroeste de la península para el descubrimiento de nuevos recursos de mineral de hierro, han puesto de manifiesto la existencia de importantes tonelajes de mineral cuya explotación industrial debe ser estudiada en todos sus aspectos.

Uno de éstos, quizá el de mayor importancia, es el de la concentración del mineral, operación necesaria, ya que se trata de minerales cuyo contenido en hierro no alcanza leyes comerciales.

Para determinar el sistema de concentración más conveniente y establecer los resultados que con su empleo podrán obtenerse en la práctica, se ha iniciado una serie de estudios sobre minerales de distintas procedencias de la zona, que servirán de base para proyectar la futura instalación de concentración.

El trabajo que ahora presentamos constituye el primero de estos estudios y ha sido efectuado sobre los minerales de Cala (Huelva).

Los resultados obtenidos permiten asegurar que la concentración industrial de estos minerales es factible, llegándose mediante el empleo de procedimientos de separación magnética a concentrados de ley superior al 66 % de Fe con rendimientos en peso del 58 % y una recuperación del 86 % del hierro total y del 97 % del hierro magnético contenido en el mineral.

La concentración de los sulfuros es igualmente posible empleando la flotación.

### OBJETO DEL ESTUDIO

El principal objeto que se persigue en este trabajo es el de estudiar la posibilidad de concentración de estos minerales para obtener concentrados de alta calidad en hierro y exentos de impurezas.

La circunstancia de venir acompañados de una cierta proporción de sulfuros, principalmente pirita de hierro y algo de calcopirita, aconseja estudiar igualmente la concentración de éstos como posible subproducto del tratamiento.



## LA MUESTRA

El mineral sobre el que se ha efectuado este trabajo procede de la mina de Cala, y puede considerarse como representativo del todo-uno que se extrae en la explotación.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MINERAL

El análisis químico efectuado sobre muestra media tomada del conjunto del mineral que compone la muestra general ha dado el siguiente resultado:

Fe .....	46,18 %
S .....	2,69 %
Cu .....	0,10 %
P .....	0,08 %
As .....	0,02 %
Mn .....	0,78 %
SiO <sub>2</sub> .....	19,30 %
CaO .....	1,88 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	2,25 %
MgO .....	2,57 %

Como se ve, la composición química del mineral justifica la necesidad de su concentración, no sólo para elevar la ley en hierro, sino para eliminar el azufre y rebajar el contenido en sílice.

La proporción de los demás elementos que podrían constituir impurezas se encuentran por debajo de los límites prohibitivos.

## COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

El estudio mineralográfico efectuado sobre preparaciones pulidas y en lámina delgada en colaboración con el laboratorio de la especialidad, indica que las especies metálicas que integran el mineral son: magnetita, oligisto, pirita de hierro y calcopirita, a las que acompaña como ganga, cuarzo, carbonato y mica.

La magnetita es la especie predominante y se presenta generalmente en masas constituidas por agrupaciones de cristales y también, aunque en menor proporción, en forma de cristales aislados diseminados en la ganga. Su tamaño varía entre 0,10 y varios milímetros.

El oligisto se encuentra en pequeña proporción y viene en tamaños finísimos dentro de la magnetita y también en formas laminares individualizadas de hierro especular.

La pirita se presenta en masas fajeadas intercaladas en la mineralización de hierro. Su tamaño es análogo al de la magnetita.

La calcopirita, en proporción muy escasa, viene de preferencia con la pirita y su tamaño va desde 20 micras a varios milímetros, abundando los tamaños finos.

El cuarzo constituye la ganga predominante y, al igual que los sulfuros, corresponde a una paragénesis posterior a la magnetita. Se presenta en forma de vetas y también de granos diseminados. Su tamaño, muy variable, alcanza varios milímetros.

Los carbonatos y la mica son poco abundantes.

## GRADO DE MOLIENDA NECESARIO

En lo que a la magnetita se refiere, el grado de molienda necesario para conseguir su liberación es, según el estudio de medición de granos efectuado, del orden de 0,15 mm., pero si se tiene en cuenta que una parte de esta especie viene en tamaños superiores a esta dimensión, se podrán conseguir liberaciones «prácticas» con moliendas más gruesas.

La determinación del grado de molienda más conveniente depende principalmente de la calidad de los concentrados a obtener, pero en el caso que nos ocupa está influenciado además por la granulometría que deben tener los concentrados para su posterior proceso de aglomeración (peletización).

En cuanto a los sulfuros, el grado de molienda necesario para conseguir la liberación es análogo al de la magnetita, pero la necesidad de emplear la flotación para su concentración obliga a ir a moliendas más finas que las necesarias para la liberación «práctica» de esta última.

La recuperación, o no, de los sulfuros tiene gran importancia en lo que a la molienda se refiere, pues en el caso de no recuperarse y ser eliminados con el estéril, la concentración de la magnetita puede hacerse en escalones intermedios de molienda, con la consiguiente economía, pero, si su recuperación se considera necesaria, lo más conveniente será ir a una molienda total del mineral al tamaño que permita la concentración directa de la magnetita y los sulfuros, sin tener que recurrir al empleo de moliendas intermedias.

Teniendo en cuenta todo esto, los ensayos de concentración, de que más adelante hablaremos, se han efectuado empleando distintos grados de molienda para determinar la influencia de ésta en la calidad de los concentrados.

Según los resultados obtenidos, el grado de molienda más conveniente, tanto para la obtención de concentrados de hierro de alta calidad, como para la concentración de los sulfuros, es el de 0,15 mm. (100 mallas Tyler).

El empleo de moliendas más gruesas produce concentrados de menor ley y dificulta la posible recuperación de los sulfuros.

El tamaño que se puede emplear para la concentración del hierro es el de 0,50 mm.

#### ENSAYOS DE CONCENTRACIÓN

Para estudiar las posibilidades de concentración del hierro y de los sulfuros contenidos en el mineral, se ha efectuado una serie de ensayos en la forma y con los resultados que se indican a continuación:

#### ENSAYOS DE CONCENTRACIÓN DE HIERRO

Hecha la determinación de la forma y proporción en que viene el hierro en el mineral, se llega al siguiente resultado:

Hierro magnético ... ..	88,72 %
Hierro en forma de sulfuros ... ..	4,81 %
Hierro en forma de óxidos y silicatos ... ..	6,47 %

Esta distribución del hierro confirma el carácter magnético de estos minerales y aconseja el empleo de procedimientos de separación magnética para su concentración.

Para determinar el comportamiento del mineral en la concentración magnética, se han efectuado diversos ensayos, empleando la separación en seco y en húmedo, procediendo en la siguiente forma:

##### a) *Ensayos de concentración magnética en seco.*

Los últimos avances de la técnica, en lo que a concentración magnética de minerales se refiere, han puesto de manifiesto la posibilidad de efectuar la concentración de minerales finamente molidos, empleando procedimientos de separación en seco, y por ello hemos considerado conveniente ensayar éstos para determinar el comportamiento del mineral en esta clase de tratamiento.

Antes de ensayar la aplicación de estos procedimientos sobre el mineral molido al tamaño de liberación y teniendo en cuenta que una parte de la ganga viene en tamaños gruesos, se ha estudiado la posibilidad de separar ésta mediante un primer escalón de molienda gruesa y separación magnética en seco, para conseguir su enriquecimiento o preconcentración.

Con tal objeto, se ha efectuado un ensayo moliendo el mineral a 5 milímetros y utilizando una separadora magnética de tambor de imanes permanentes para trabajar en seco.

Esta separadora, que es la que se ha empleado en todos los ensayos de separación en seco que nos ocupan, es de diseño especial y se compone de un tambor giratorio de material antimagnético en cuyo interior va otro provisto de imanes permanentes de polaridad alterna que gira independientemente de aquél.

Cada tambor es accionado por un motor cuya velocidad puede variarse. El tambor de los imanes puede girar en los dos sentidos.

Los dos tambores son excéntricos y la excentricidad puede regularse para conseguir distintas intensidades de campo magnético en la zona de separación.

En el ensayo de preconcentración efectuado, el número de revoluciones de los tambores ha sido de 80 r. p. m., para el tambor exterior, y 65 r. p. m. para el de los imanes, y el resultado obtenido ha sido el siguiente:

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado ... ..	74,83	54,20	0,97	14,52	90,86	28,39	50,68
Mixtos ... ..	2,17	31,54	3,93	28,10	1,53	3,34	3,84
Estéril ... ..	23,00	14,75	7,59	43,32	7,61	68,27	46,48
	100,00	44,63	2,55	21,43	100,00	100,00	100,00

Estos resultados demuestran la posibilidad de efectuar la preconcentración del mineral con un rendimiento aceptable, eliminando un 23 por 100 del estéril.

Esta preconcentración posiblemente pueda efectuarse a tamaño algo superior a 5 mm., lo que habrá que comprobar en nuevos ensayos.

Para determinar los resultados que cabe esperar en la concentración en seco del preconcentrado obtenido, se ha procedido a moler éste en unión de los mixtos a 88 por 100 menor de 0,15 mm., adicionando 500 g. por tonelada de ácido oleico (tall-oil, 25), para deflocular el mineral.

El empleo de ácido oleico o de otros agentes orgánicos, tales como los ácidos salicílico, cresílico, nafténico, etc., se ha podido comprobar que produce una dispersión de las partículas que facilita su posterior separación.

El ensayo de concentración magnética se ha efectuado regulando la velocidad a 160 r. p. m., para el tambor exterior, y 75 r. p. m. para el de imanes.

La operación de separación se ha efectuado mediante tres pasadas sucesivas, recogiendo en cada una un estéril y unos mixtos.

El resultado del ensayo ha sido el siguiente:

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	76,82	66,20	0,09	0,04	94,97	6,58	20,89
Mixtos 1. <sup>a</sup> pasada	2,51	12,52	1,30	48,30	0,96	5,07	13,26
Mixtos 2. <sup>a</sup> pasada	0,92						
Mixtos 3. <sup>a</sup> pasada	0,67						
Estéril 1. <sup>a</sup> pasada	17,15	11,40	4,86	51,46	4,07	88,35	65,85
Estéril 2. <sup>a</sup> pasada	1,21						
Estéril 3. <sup>a</sup> pasada	0,72						
	100,00	53,55	1,05	14,90	100,00	100,00	100,00

Estos resultados indican que la separación magnética ha sido eficaz, consiguiéndose un concentrado de alta ley con un buen rendimiento.

Los mixtos tienen una ley baja en hierro, por lo que no es necesario reciclarlos.

El balance total de la operación de concentración magnética en seco, incluida la preconcentración es la siguiente.

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	59,15	66,20	0,09	4,04	87,74	2,08	11,14
Mixtos de la separación fina.	3,16	12,52	1,30	48,30	0,89	1,60	7,12
Estéril de la separación fina.	14,69	11,40	4,86	51,46	3,75	27,96	35,26
Estéril de la preconcentra- ción	23,00	14,75	7,59	43,32	7,62	68,36	46,48
	100,00	44,62	2,55	21,44	100,00	100,00	100,00

La recuperación de la magnetita ha sido de 98,91 por 100.

#### b) Ensayos de concentración magnética en húmedo.

Estos ensayos se han efectuado para determinar el comportamiento del mineral en la concentración magnética en húmedo y estudiar la influencia del grado de molienda en esta operación.

También se ha ensayado la preconcentración en seco y el posterior tratamiento en húmedo del preconcentrado.

Los ensayos de concentración magnética directa se han efectuado empleando los cuatro grados de molienda siguientes: 100 por 100, 88 por 100, 75 por 100 y 60 por 100 menor de 0,15 mm., y concentrando el mineral en una separadora magnética de tambor provista de electroimanes de intensidad regulable, para trabajar en húmedo.

Cada ensayo se ha efectuado mediante tres pasadas sucesivas, sin repaso de mixtos.

La regulación de la máquina y los resultados obtenidos en cada ensayo, son los que se indican seguidamente:

#### Ensayo «A».

Molienda: 100 por 100 menor de 0,15 mm.

	1. <sup>a</sup> Pasada	2. <sup>a</sup> Pasada	3. <sup>a</sup> Pasada
Amperaje en imanes	3 amp.	2,5 amp.	2 amp.
Separación tambor canal	5 mm.	7 mm.	10 mm.

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	56,50	68,98	0,02	2,34	85,80	0,39	6,72
Mixtos 2. <sup>a</sup> pasada	6,20	14,99	5,46	33,89	2,05	11,95	10,69
Mixtos 3. <sup>a</sup> pasada	2,30	19,33	4,81	39,92	0,98	3,90	4,67
Estéril 1. <sup>a</sup> pasada	35,00	14,53	6,78	43,74	11,17	83,76	77,92
	100,00	45,42	2,83	19,65	100,00	100,00	100,00

#### Ensayo «B».

Molienda: 88 por 100 menor de 0,15 mm.

	1. <sup>a</sup> Pasada	2. <sup>a</sup> Pasada	3. <sup>a</sup> Pasada
Amperaje en imanes	3 amp.	2,3 amp.	1,9 amp.
Separación tambor canal	10 mm.	15 mm.	20 mm.

348

JOSÉ M.<sup>o</sup> FERNÁNDEZ BECERRIL

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	60,30	66,57	0,02	3,95	87,51	1,34	11,77
Mixtos 2. <sup>a</sup> pasada	5,75	14,74	6,81	43,70	1,84	17,38	12,43
Mixtos 3. <sup>a</sup> pasada	2,05	16,04	4,32	43,96	0,74	3,96	4,46
Estéril 1. <sup>a</sup> pasada	31,90	14,54	5,35	45,22	9,91	77,32	71,34
	100,00	45,86	2,25	20,22	100,00	100,00	100,00

*Ensayo «C».*

Molienda: 75 por 100 menor de 0,15 mm.; 100 por 100 menor de 0,3 mm.

	1. <sup>a</sup> Partida	2. <sup>a</sup> Partida	3. <sup>a</sup> Partida
Amperaje en imanes	3 amp.	2,3 amp.	2 amp.
Separación tambor-canal	15 mm.	20 mm.	25 mm.

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	58,80	66,44	0,10	4,20	87,21	0,23	11,92
Mixtos 2. <sup>a</sup> pasada	4,10	14,98	3,21	42,87	1,37	5,13	8,49
Mixtos 3. <sup>a</sup> pasada	1,25	20,35	4,50	38,91	0,57	2,18	2,27
Estéril 1. <sup>a</sup> pasada	35,85	13,75	6,62	44,69	10,85	92,46	77,32
	100,00	44,79	2,56	20,71	100,00	100,00	100,00

*Ensayo «D».*

Molienda: 60 por 100 menor de 0,15 mm.; 100 por 100 menor de 0,5 mm.

	1. <sup>a</sup> Partida	2. <sup>a</sup> Partida	3. <sup>a</sup> Partida
Amperaje en imanes	3 amp.	2,3 amp.	1,2 amp.
Separación tambor-canal	10 mm.	15 mm.	15 mm.

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	59,50	64,98	0,20	6,04	86,20	4,38	15,22
Mixtos 2. <sup>a</sup> pasada	7,05	13,99	4,64	49,00	2,19	12,05	14,62
Mixtos 3. <sup>a</sup> pasada	4,60	30,42	2,70	36,92	3,12	4,58	7,20
Estéril 1. <sup>a</sup> pasada	28,85	13,19	7,43	51,52	8,49	78,99	62,96
	100,00	44,85	2,71	23,61	100,00	100,00	100,00

Resumiendo los resultados obtenidos en lo que a pesos, leyes y rendimientos de los concentrados se refiere, se llega al siguiente cuadro comparativo:

Ensayo	Molienda % menor 0,15 mm.	Peso %	Ley %			Rendimiento %	
			Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe total	Fe magnético
«A»	100 %	56,50	68,98	0,02	2,34	85,80	96,74
«B»	80 %	60,30	66,57	0,02	3,95	87,51	97,11
«C»	75 %	58,80	66,44	0,10	4,20	87,21	98,31
«D»	60 %	59,50	64,98	0,20	6,04	86,20	97,16

Estos resultados ponen de manifiesto que la concentración magnética en húmedo permite obtener concentrados de alta calidad con buenos rendimientos. Como se ve, la ley de los concentrados depende del grado de molienda, y por ello éste deberá fijarse de acuerdo con la calidad que se desee obtener.

El tamaño máximo de molienda que cabe emplear es el de 60 por 100 menor de 0,15 mm., equivalente a 100 por 100 menor de 0,5 mm., pues una molienda más gruesa no permitirá una buena eliminación del azufre.

El grado óptimo de molienda, tanto bajo el punto de vista de calidad del concentrado, como de la posible recuperación de los sulfuros y de la granulometría más conveniente para la pelletización de los concentrados, estimamos es el menor de 0,15 mm.

Con esta molienda la granulometría resultante para el concentrado es la siguiente:

Tamaño mm.	Peso %
+ 0,20	—
+ 0,15	0,40
+ 0,10	2,90
+ 0,05	28,50
— 0,05	68,20
	100,00

Los ensayos combinados de preconcentración en seco y posterior concentración en húmedo del preconcentrado se han llevado a cabo moliendo el mineral a 5 mm., efectuando su concentración en la separadora en seco y moliendo el concentrado y los mixtos de esta operación a 88 por 100 menor de 0,15 mm., y concentrándolos en la separadora magnética en húmedo.

Los resultados obtenidos en la preconcentración han sido los siguientes:

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	73,85	53,72	0,39	14,59	89,84	12,90	49,92
Mixtos	1,65	32,00	2,80	31,00	1,20	1,23	2,39
Estéril	24,50	16,14	7,76	46,07	8,96	85,87	47,69
	100,00	44,15	2,23	21,58	100,00	100,00	100,00

La concentración en húmedo del preconcentrado se ha efectuado regulando la máquina igual que en el ensayo «A», y los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	73,24	67,00	0,03	3,61	92,16	5,01	17,68
Mixtos 2. <sup>a</sup> pasada	4,97	21,14	1,09	41,82	3,70	23,17	26,11
Mixtos 3. <sup>a</sup> pasada	4,37						
Estéril 1. <sup>a</sup> pasada	17,42	12,63	1,81	48,26	4,14	71,82	56,21
	100,00	53,24	0,43	15,30	100,00	100,00	100,00

El balance de ambas operaciones es el siguiente:

Productos	Peso %	Ley %			Rendimiento %		
		Fe	S	SiO <sub>2</sub>	Fe	S	SiO <sub>2</sub>
Concentrado	55,30	67,00	0,03	3,61	83,90	0,07	9,25
Mixtos de la separación fina.	7,05	21,14	1,09	41,82	3,38	3,40	13,66
Estéril de la separación fina.	13,15	12,63	1,81	48,26	3,76	10,66	29,40
Estéril de la preconcentración	24,50	16,14	7,76	46,07	8,96	85,87	47,69
	100,00	44,15	2,23	21,58	100,00	100,00	100,00

La recuperación de magnetita ha sido de 94,58 por 100.

La comparación de los resultados obtenidos en los ensayos efectuados en seco y en húmedo indica que ambos sistemas de concentración son igualmente eficaces y permiten obtener concentrados de alta ley con buenos rendimientos. La calidad de los concentrados en seco es ligeramente inferior a la de los obtenidos en húmedo, pero el rendimiento, en cambio, es algo superior.

El análisis químico del concentrado obtenido en el ensayo de preconcentración y separación magnética en húmedo ha dado el siguiente resultado:

Fe	67,00 %
S	0,03 %
Cu	indicios
P	0,03 %
SiO <sub>2</sub>	3,61 %
CaO	0,26 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18 %

#### ENSAYOS DE CONCENTRACIÓN DE LOS SULFUROS

Aunque la proporción de sulfuros en el mineral es muy pequeña, pues representa el 4,9 por 100 de pirita y el 0,29 por 100 de calcopirita, y su recuperación no creemos sea económica, se ha estudiado su concentración por si al aumentar su contenido en algunas zonas del yacimiento se considerase conveniente efectuar su recuperación como subproducto de la concentración del hierro.

Como la proporción de cobre es tan sólo de 0,10 por 100, su recuperación en un concentrado independiente no se considera económica, y por ello se ha ensayado la concentración global de los dos sulfuros.

El sistema de concentración empleado ha sido el de flotación, por ser el más conveniente, dada la forma en que viene la mineralización y la necesidad de moler finamente el mineral para la concentración del hierro.

Los ensayos se han efectuado partiendo directamente del estéril y mixtos procedentes del ensayo «A», de concentración magnética en húmedo, y en ellos se ha perseguido la concentración global de los dos sulfuros.

La marcha seguida ha sido la normalmente empleada en esta clase de flotación, observándose la conveniencia de acidificar la pulpa para conseguir una mejor recuperación.

Los reactivos que han dado mejor resultado son: silicato sódico, como dispersador; xantato amílico, como colector, y aceite de pino, como espumante.

La flotación se ha efectuado mediante un desbaste y dos relavados sucesivos.

De los distintos ensayos efectuados, damos a continuación los datos del que consideramos más representativo, indicando las características operativas y los resultados obtenidos.

Reactivos por tonelada:

Silicato sódico	600 g.
Acido sulfúrico	500 g.
Xantato amílico	120 g.
Aceite de pino	60 g.

pH: 6,2.

Tiempos de flotación:

Desbaste	6 minutos
Primer relavado	4 minutos
Segundo relavado	3 minutos

Productos	Peso %	Ley %		Rendimiento %	
		S	Cu	S	Cu
Concentrado	11,83	46,50	1,75	89,93	91,80
Primer estéril de relavado	3,01	11,43	0,38	5,64	5,50
Segundo estéril de relavado	1,62	16,79	0,38	4,43	2,70
Estéril	83,54	indicios	indicios	-	-
	100,00	6,11	0,22	100,00	100,00

Como puede verse, la flotación global de los sulfuros es posible, obteniéndose un concentrado de calidad comercial, con un buen rendimiento. En la práctica podrán obtenerse concentrados superiores al 48 por 100 S.

El peso del concentrado referido al todo-uno es de 51,46 kilos por tonelada, y el del cobre, metal contenido, de 0,90 kilos.

Esta cantidad de concentrado es tan pequeña, que su valor comercial apenas compensa el costo de concentración. Por ello y si se tiene en cuenta que en el caso de no recuperar los sulfuros puede obtenerse una economía adicional, al no tener que moler un 25 por 100 del mineral (estéril más pirita) que se elimina en la preconcentración, la concentración de los sulfuros no parece aconsejable.

CONCLUSIONES

Como resumen de todo lo anteriormente expuesto, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1.<sup>a</sup> Los minerales de la mina de Cala pueden ser concentrados eficazmente empleando procedimientos de separación magnética en seco o en húmedo, para la concentración del hierro, y de flotación para la de los sulfuros.

2.<sup>a</sup> La separación magnética permite la obtención de concentrados con ley superior al 66 por 100 de hierro, prácticamente exentos de impurezas, con un rendimiento ponderal de 58 por 100 y una recuperación del 86 por 100 del hierro total y de 97 por 100 del hierro magnético.

3.<sup>a</sup> La calidad de los concentrados depende principalmente del tamaño de molienda que se emplee, siendo el más conveniente el menor de 0,15 mm., y el máximo que cabe emplear el de 0,50 mm.

4.<sup>a</sup> La concentración por flotación de los sulfuros permite obtener concentrados de calidad comercial con buenos rendimientos, pero la escasa proporción en que vienen, hace que su recuperación no resulte económicamente interesante.

5.<sup>a</sup> En el caso de no recuperar los sulfuros, la concentración magnética del hierro deberá efectuarse en dos escalones, uno de preconcentración sobre el mineral molido a tamaño de 5 mm., o algo superior, en el que se eliminará un 25 por 100 como estéril, y otro de concentración propiamente dicha, sobre el preconcentrado molido a 0,15 mm.

Operando en estas condiciones, se podrán obtener concentrados de alta calidad con el mínimo costo de tratamiento.

Recibido el 22-V-67.

F. ESTEBAN SANTISTEBAN  
Dr. Ingeniero de Minas

## INVESTIGACION DE HIERROS EN EL SO. DE ESPAÑA PROSPECCION GEOFISICA

Dado el carácter de los minerales que en esta investigación pretendían localizarse, la prospección geofísica que se ha realizado tuvo una orientación eminentemente magnética.

Se dispusieron en campo cuatro magnetómetros de torsión para medir las variaciones de la componente vertical del campo magnético terrestre. Para tener un control exacto de las variaciones diurnas del campo magnético terrestre se tuvo un registro continuo con una balanza magnética, evitándose de este modo la utilización de datos de campo en días que han existido fuertes perturbaciones del campo magnético terrestre, los cuales dan lugar a anomalías magnéticas inexistentes, cuyo origen no está en las modificaciones producidas por masas minerales magnéticas, sino en alteraciones extraterrestres.

En el ánimo de todos está lo costoso y difícil que es la instalación y puesta en marcha de una explotación minera, allí donde no existe más que el conocimiento de unos yacimientos de mineral. El comenzar por hacer carreteras, llevar energía eléctrica, etc., supone un esfuerzo y un tiempo que difícilmente podría haber puesto de manifiesto, en breves etapas, la resaltada labor del Instituto en esta parcela de la investigación.

Existía, pues, una incógnita interesante de desvelar, allí donde había explotaciones mineras. Nos referimos concretamente al hecho de poder llevar a los actuales explotadores de hierro del SO. el conocimiento riguroso y exacto de prolongaciones importantes de sus actuales explotaciones.

Esta ha sido, por tanto, una de las fases de este trabajo, siendo natural que la segunda vía emprendida haya correspondido a la idea de poder encontrar otras zonas nuevas totalmente, pero sin perder de vista las proximidades de otras explotaciones y que siempre facilitarían enormemente el arranque de estos minerales.



El proceso seguido en todo momento ha constado de dos facetas complementarias una de la otra; así llegamos al concepto que señala el título de este trabajo, como es:

#### MAGNETOMETRÍA DE DESBROCE Y DE DETALLE

Antes de pasar a un estudio detallado de una zona, es evidente que conviene hacer un reconocimiento más o menos grosero de ella y de los alrededores. Hemos utilizado los caminos y carreteras marcados en las Hojas topográficas 1/50.000 del Instituto Geográfico y Catastral. Las observaciones se hacen cada 50 pasos (a veces menos) y posteriormente se van dibujando una serie de perfiles con los valores reducidos y calculados partiendo de una misma base magnética.

Este proceso nos marca una serie de alineaciones una vez que los máximos magnéticos son llevados aproximadamente a los planos topográficos. Juzgando la importancia de estas anomalías y su extensión, es cuando se decide acometer un estudio de detalle de la zona, siempre que los informes geológicos que hemos tenido a mano así lo han aconsejado.

Hemos de resaltar aquí la ventaja del método magnético, pues la existencia de grandes masas de magnetita produce, naturalmente, grandes perturbaciones o anomalías en el campo magnético terrestre, que van midiéndose con los magnetómetros de campo.

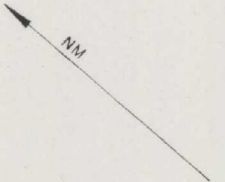
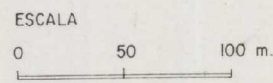
Si estas anomalías son muy fuertes es evidente que nos encontremos, casi seguro, ante un buen yacimiento de magnetita, y en consecuencia, se podrá concentrar la investigación geológica y geofísica de detalle de la zona. Vemos cómo en este caso parece que se invierte el proceso natural de la investigación, pero es evidente que no producimos más que una selección de zonas que es lo que en definitiva interesa. Este fin es el que persigue el vuelo aeromagnético y que, ante la facilidad y rapidez de su ejecución, representa ventajas incalculables en relación con algunos de los pequeños inconvenientes que hemos observado en algunos trabajos de esta naturaleza.

Pasado este período que podíamos llamar de selección de áreas, una vez marcadas las zonas de anomalías en las Hojas topográficas 1/50.000, comienzan a vislumbrarse una serie de formaciones o alineaciones de las que nosotros hemos deducido la existencia de una masa mineralizada en una disposición cualquiera. En esta zona del SO. de España estas estructuras siempre han aparecido con un carácter típicamente lineal, que hacía pensar en formaciones de tipo dique o filonianas, o capas.

Decidida, por consiguiente, la importancia e interés de una zona cualquiera, es evidente que el paso siguiente era la implantación topográfica en el suelo de una serie de estaquillas que forman una cuadrícula, distribuidas generalmente en perfiles, con distancias mutuas de 50 ó 75 metros, en tanto

PROSPECCION MAGNÉTICA EN CUADRICULA 8 -CALA (HUELVA)

Rayado horizontal, negativos  
Id vertical, positivos  
Punteado, zona explotada  
◆ Sondos  
4-C



SOCAVÓN DOMINESA

SOCAVÓN BARENERA

ZONA EXPLOTADA

4-C

2-C

3-C

9-C

5-C

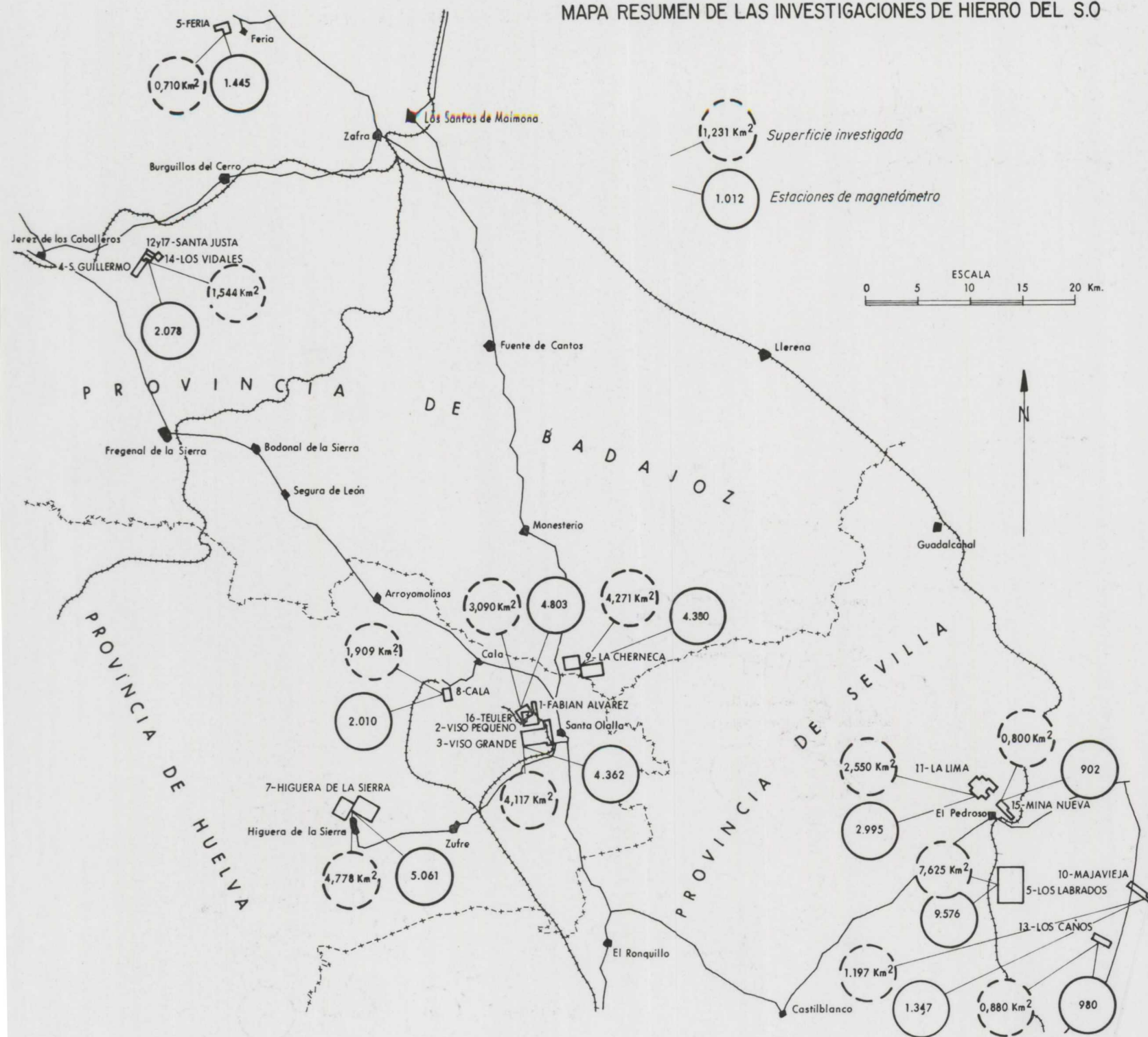
7-C

8-C





# MAPA RESUMEN DE LAS INVESTIGACIONES DE HIERRO DEL S.O.



que las diferentes estaquillas de cada perfil están a distancias de 25 metros. Esta cuadrícula es la que va a servirnos para realizar un estudio de detalle del conjunto o unidad de anomalías magnéticas.

Siempre ha sido necesario rebasar en una distancia prudencial la zona de anomalías magnéticas, pues ello tiene un gran interés e importancia para la determinación del nivel cero. A partir de este nivel magnético quedan definidas las anomalías positivas y negativas que serán las que nos den una primera estimación de profundidades.

#### *Ejemplo*

La primera parte de estas investigaciones creo que queda clara con las ideas apuntadas anteriormente, pero consideramos muy interesante el comentario de una de las cuadrículas realizadas dentro de este programa de prospección magnética (plano I).

Se refiere esta cuadrícula a la mina de Cala, propiedad actualmente de Minera de Andévalo, S. A. En el ángulo superior izquierdo de este plano se ven dos socavones, Barrenera y Dominesa, que son los que limitaban las explotaciones que tenía esta Compañía minera y que no rebasaban en mucho los 400 metros de corrida.

Realizados unos cuantos perfiles de desbroce, en dirección N.-S. aproximadamente, se vio la existencia de anomalías magnéticas en la parte de Levante y en la de Poniente, siendo muy importantes las existentes hacia Levante. No carecen de interés las de Poniente, pero su corrida es mucho menor. La distancia desde un extremo a otro supera los 1.500 metros, manifestándose, según se ve, una corrida en forma de capa (o conjuntos de capas).

Así planeamos la cuadrícula que se acompaña con este trabajo y que por la presencia de pequeñas escombreras antiguas nos obligó a separarnos unos 200 metros de las actuales explotaciones de Minera de Andévalo, S. A.

El resultado de esta prospección no pudo ser más halagüeño, pues se vio que toda la formación mineralizada se continuaba hacia Levante en unos 800 metros aproximadamente.

A la vista de este plano de anomalías magnéticas hay tres hechos de gran interés para el explotador:

- 1) Nos encontramos con una mina que tiene una longitud de capas de unos 1.500 metros aproximadamente.
- 2) Al comienzo de las anomalías magnéticas aparece una falla que rompe la continuidad de la formación.
- 3) Al igual que el conjunto de Poniente, donde están las actuales explotaciones, las capas buzan claramente hacia el Norte.

En esta parte investigada a Levante, se observa una variación del buzamiento hacia el Sur.

Como consecuencia del estudio y análisis geofísico de este plano de anomalías magnéticas, se estudió la implantación de los sondeos que hay señalados en el plano, los cuales cortaron mineral de hierro a profundidades variables, pero del orden de los 40 metros aproximadamente, que era la cifra a que se calculó la existencia de mineral de hierro. Podemos finalmente afirmar que la mineralización, a veces muy buena, llega hasta profundidades muy superiores a toda previsión, siendo el rendimiento de mineral en los sondeos ejecutados muy próximo al 22 por 100, aunque esta cifra está sometida a las naturales fluctuaciones que produce todo nuevo sondeo.

Puesto que estos primeros sondeos fueron positivos con arreglo al plan previsto en un principio, se han realizado posteriormente en este área, y siempre con base en el plano de anomalías magnéticas, una serie de sondeos mecánicos complementarios, que han confirmado rotundamente las hipótesis que abrió la investigación geofísica, dando espléndida realidad a uno de los hechos más destacados en esta investigación de hierros en el Suroeste de España.

Los cálculos para la situación de sondeos mecánicos se establecieron partiendo de susceptibilidades del mineral que, en esos momentos, Minera de Andévalo estaba explotando en las zonas más próximas a las de nuestra investigación, y posteriormente con testigos de los sondeos hemos comprobado la realidad de estas hipótesis.

Para nuestras interpretaciones hemos prescindido de que el mineral pudiera presentar magnetismo remanente, lo cual no modificó en mucho nuestras primeras estimaciones, y también hemos utilizado el método de Werner para determinar la posición de la capa de mineral.

En este segundo plano que se presenta se muestra la labor realizada en un año por el Instituto, y puede verse la situación de las diferentes cuadrículas estudiadas, y lo que más nos mueve a pensar en el magnífico porvenir de esta zona es que aún hemos continuado encontrando anomalías magnéticas en zonas que están fuera de toda concesión. (Véase plano II.)

Nuestra labor queda resumida así:

Superficie estudiada: 3.300 Has.

Cuadrículas estudiadas: 19.

Observaciones con magnetómetro: 50.000.

Recibido el 23 V-67.

GINES MONCADA ARAGONÉS Y FRANCISCO OJEDA AMADOR

## LA MECANICA DE ROCAS EN LAS ROZAS A CIELO ABIERTO Y SU APLICACION EN RIO TINTO

### RESUMEN

En la introducción se plantea la exigencia de profundizar la «Corta Atalaya», explotación de piritas a cielo abierto situada en Riotinto y, de modo somero, se plantean los problemas que dicha profundización representa. Esta extensión debe ser realizada de modo económico y técnicamente seguro. Estas exigencias se interrelacionan desde el momento en que ambas son función de los ángulos de talud. Se aporta un casi exhaustivo estudio de las relaciones entre razones de desmonte, razones instantáneas y planificación de una explotación a cielo abierto.

En un inciso se efectúan unas digresiones en torno a la mecánica de rocas, dado el central compromiso de este trabajo con aquélla.

En la segunda parte se realiza un análisis crítico del estado en que se encuentran los problemas de estabilidad de taludes. Se hace una breve descripción de las tendencias de los métodos de análisis y se sientan, de modo resumido, las bases del diseño de una roza estable, a la escasa luz de lo que hoy se posee para ámbitos rocosos.

Se describe en la tercera parte el programa pensado de investigaciones, de acuerdo con los principios sentados en la parte anterior.

### I. INTRODUCCIÓN

Centramos nuestra atención en el yacimiento de piritas cupríferas que la Compañía Española de Minas de Río Tinto posee en la provincia de Huelva, aflorando en las estribaciones de Sierra Aracena, extremo Oeste de Sierra Morena, yacimiento de bien conocida resonancia en la historia de la Minería y Metalurgia occidentales. Y vamos a polarizarnos en los problemas que, en relación al marco rocoso y en una doble dimensión técnico-económica, nos plantea la proyectada extensión y profundización de la explotación a cielo abierto —conocida por Corta Atalaya— a través de la cual, y en coexistencia con un complejo laboreo interior, se efectúa la explotación del citado yacimiento.

La pensada ampliación responde al deseo de aumentar nuestros programas de producción y de proporcionarles la adecuada elasticidad con las posibilidades que un laboreo a cielo abierto nos ofrece para multiplicar en un momento dado los puntos de ataque a la masa mineral. Hemos participado

del inexcusable principio de realizar la mencionada extensión con la máxima rentabilidad y las máximas condiciones de seguridad; aquéllas, en estrecha relación con los valores de los ángulos de talud; éstas, en también estrecha connivencia con la estabilidad de estos taludes.



Fig. 1

En la foto adjunta (fig. 1) puede apreciarse los interrogantes que unos tan escarpados taludes nos plantean. La profundidad actual es de 250 metros. La consideración de la casi elipse determinada en superficie por la excavación —de ejes 900 y 600 m.—, nos lleva al más pequeño valor de la relación  $\frac{\text{diámetro}}{\text{profundidad}}$  que en el mundo se da a tal profundidad en una explotación minera. El siguiente cuadro recoge los valores medios de los taludes actuales, al mismo tiempo que una descripción sucinta de los materiales rocosos que se dan en el ámbito de la Corta, materiales de una muy diferente caracterización resistente:

(*) Pórfido Norte (masivo o mineralizado) ... ..	58°
Pórfido Norte «cizallado» ... ..	42½°
Masa mineral (pirita) ... ..	40°
Pórfido Sur ... ..	37½°

(\*) Estos pórfidos son realmente materiales riolíticos, a la luz de los recientes estudios de la génesis del yacimiento.

Pizarra Sur (de crucero paralelo a la cara de los bancos) ... ..	37½°
Pizarra Levante (de crucero perpendicular a dichas caras) ... ..	40°
Materiales de relleno ... ..	32½°

Meditese ahora en que la ampliación se ha proyectado para alcanzar los 400 m. de profundidad en un marco donde los elementos litológicos y estructurales, condicionando las respuestas resistentes, se disponen más bien caóticamente. Nace aquí nuestra preocupación por analizar los riesgos que esta profundización representa y la necesidad de articular los medios adecuados para medir la magnitud de sus operaciones y, también, aquéllos con que enfrentarse a los mismos. Todo ello junto a la trascendencia económica del papel jugado por los valores de las pendientes de los taludes, condicionantes en nuestro caso de la posibilidad del proyecto.

Por tanto, estamos en presencia de una excavación que nos es necesario profundizar, pero que es necesario hacerlo de modo económico y seguro. Como técnicos resulta obvio hablar de la exigencia de encontrar las soluciones para los problemas que nuestro Proyecto implica.

*Conveniencia de un laboreo a roza abierta*

El desarrollo de la tecnología ha permitido un rápido avance, sin límites oteables por el momento, de las técnicas de perforación, voladura, carga y arrastre. Todo esto es responsable del dinámico auge que hoy asiste a la minería a roza abierta. Las tendencias que se registran son las de incremento del volumen de sus operaciones. Por término medio, y sin meternos en juicios más aquilatadores, la puesta en acción de una explotación a cielo abierto requiere alrededor de la mitad del capital necesitado para una explotación subterránea de similar envergadura, y los costes de la unidad de producción oscilan por debajo de la mitad de los obtenidos en minería de laboreo interior. De ahí que las riquezas explotables de las masas minerales sean, cada vez más, de leyes menores ante la disminución progresiva de los costes de remoción. Para minerales de cobre, por ejemplo, y jugando con la relación

$$a + b \cdot R < L$$

en la que L = ley media de la masa

a = ley mínima necesaria para costear los gastos de explotación, preparación y concentración.

b = ley mínima necesaria para igualar los gastos de operación de la tonelada de recubrimiento.

R = valor de la relación  $\frac{\text{estéril}}{\text{mineral}}$

se puede llegar a obtener valores de R completamente insospechados hace unos años.

Mas la decisión que conduzca a uno u otro tipo de minería no se muestra siempre simple. Una minería subterránea preexistente, no necesitada de grandes inversiones previas, aborta con frecuencia la posibilidad de paso a un recomendable laboreo exterior que exigiría romper la acomodaticia inercia de las tomas de decisiones. Problematizan también aquéllas las situaciones «fronteras» que llevan consigo un riesgo, riesgo que suele anular el valor real que puedan encerrar las predicciones que se colijan de las tendencias.

Tampoco podemos olvidar las innegables ventajas que asisten a un laboreo subterráneo:

1. Dentro de unos límites, el precio de la unidad de producción depende poco de la profundidad y sí del método de laboreo usado. En una corta el precio de la unidad a remover varía también poco con la profundidad, pero el de la tonelada de mineral varía proporcionalmente a la razón  $R = \frac{\text{estéril}}{\text{mineral}}$ , que crece vertiginosamente con dicha profundidad.

2. En un laboreo interior, y fuera de la previa programación general de éste, se puede atacar la explotación de una sección no investigada anteriormente, o bien, ampliar una sección dada, o bien abandonarla, sin grandes costes adicionales. En una explotación a cielo abierto, la explotación de un volumen que cae fuera del diseño general de la Corta plantea problemas frecuentemente insolubles, o bien, si cae dentro, debe ser imperativamente arrancado.

Hemos sopesado, pues, cuidadosamente la realización del aumento de nuestra producción acentuando nuestro laboreo exterior. Pero queremos dejar constancia de la ayuda que nuestra experiencia de minería subterránea de masas metálicas nos ha prestado en esta decisión. Vaya en justificación de una tal afirmación, de un lado, las enseñanzas de nuestros propios métodos: «sub-level stoping» en nuestros pórfidos mineralizados; cortes ascendentes en nuestra masa de pirita, los intentos de cortes descendentes con piso previo —variedad del «top slicing»—; sinnúmero de otras variantes que nuestra memoria recoge y sucediéndose según las circunstancias o los resultados lo aconsejasen. De otro lado, las experiencias cosechadas de detenidas visitas giradas a minas europeas, americanas y australianas. Pero subrayemos que cualquier tipo de laboreo interior que pueda ser pensado para nuestra masa ha de enfrentarse con la servidumbre a:

1. Una masa mineral de pocas bondadosas condiciones resistentes, con un diferente comportamiento, además, de los hastiales rocosos limitantes.

2. Empleo obligado de materiales de relleno.

No entramos en las dificultades que están presionando la minería subterránea con carácter casi universal, con evolución presumiblemente negativa.

## II. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

### *Enfoque económico de los ángulos de talud*

Hemos enunciado al principio la necesidad de realizar la citada extensión económicamente, o sea, con una lógica rentabilidad, y de modo técnicamente seguro. Dichas exigencias se interrelacionan desde el momento en que ambas son función de los ángulos de talud adoptados. Nos referimos, por supuesto, a la pendiente general de la línea que une los pies de los bancos y no a los llamados taludes de trabajo, función de las conveniencias de las operaciones de desmonte y explotación.

El coste de la minería a cielo abierto depende en grande escala de la relación de desmonte R definida como la razón entre el volumen de estéril que debe ser removido y el volumen de mineral descubierto. Cuanto más escarpados sean los taludes, tanto más favorables relaciones de desmonte obtendremos, pero entrará en cuestión la estabilidad de los mismos y, por consiguiente, la seguridad de las inversiones, de la maquinaria y de los hombres. O sea, ante el diseño de una roza abierta se plantea una situación de compromiso: los taludes deben ser, por razones económicas, lo más escarpados posibles y, por razones de seguridad, lo más inclinados. Consecuencia: un creciente interés en la investigación de los problemas de la estabilidad de taludes con la presunción de que la aplicación de principios científicos puedan conducir al hallazgo de soluciones para un correcto diseño de los mismos, espoleado este interés por el ya aludido progreso de las técnicas usuales en las rocas abiertas. De ahí el recurrir a la Mecánica de Suelos o a la Mecánica de Rocas como instrumentos que proporcionen soluciones correctas.

La importancia económica que para nosotros poseen estos problemas de talud la refleja el hecho de que la sola diferencia de un grado en los ángulos de talud, puede representar la no remoción de un cuantioso tonelaje:

Partamos de un valor de ángulo de talud de 45°, valor medio de los dados realmente, y de la profundidad final de 400 m. (véase fig. 2) en una corta supuesta, idealmente, cónica.



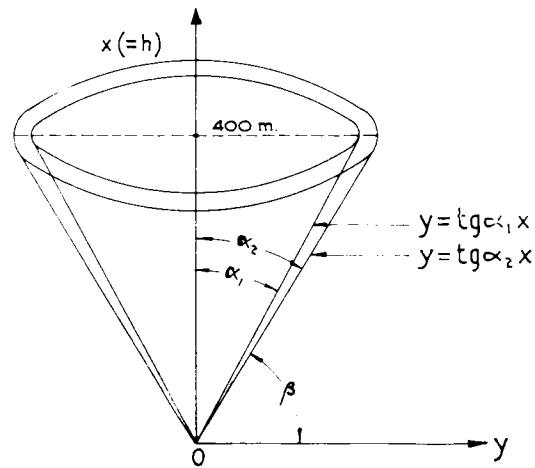


Fig. 2

Volumen diferencia de los dos conos =  $V$

$$= V_2 - V_1 = \pi \int_0^{400} x^2 (\operatorname{tg}^2 \alpha_2 - \operatorname{tg}^2 \alpha_1) dx$$

Suponiendo inclinaciones de taludes:

$$B_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha_1 = 45^\circ$$

$$B_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_2 = 44^\circ$$

Tendremos

$$V = \pi \int_0^{400} x^2 (\operatorname{tg}^2 46^\circ - \operatorname{tg}^2 45^\circ) dx = \pi \cdot 0,05225 \int_0^{400} x^2 dx = 4,84 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

Si la densidad de los materiales a remover es 2,5:

$$\text{Tonelaje en cuestión} = \underline{\underline{12,1 \times 10^6}}$$

Supongamos que las variaciones de los valores de las tangentes para otros ángulos de talud, y las propias irregularidades de la topografía del área de nuestra excavación, operen de modo que este valor resulte menor. Estimémosle en sólo 8 millones de toneladas, lo que significa que la sola diferencia de 1° equivale a un desmonte por valor de unos 200 millones de

pesetas, a ahorrar o a dilapidar de no valorarse juiciosamente este hecho que convierte en capitales los problemas de los taludes al lado de cualquier otro implicado por la minería a cielo abierto.

#### *Relación de desmontes y supuestos de Brink y Jennings*

Todo estudio económico de un proyecto de corta juega —como todo proyecto en realidad— con unos beneficios cuya disponibilidad queda diferida en el tiempo. En la actualización o descuento de los mismos no se reflejan las variaciones en el tiempo, ni de los precios de coste ni de los de venta, y sobre los cuales influyen decisivamente los cambios introducidos en los medios de realización, factores políticos y sociales, y los casi normales cambios del valor del dinero. Será necesario poseer un instrumento de contras-tación de aquellos beneficios con una periodicidad adaptable a las conveniencias de una recta fiscalización.

Como criterio para un análisis de conjunto de la rentabilidad de las inversiones se utiliza la relación elegida de desmonte  $R$ . En los inicios de un proyecto, sobre todo, no se posee otro. El valor máximo  $R_m$  de esta relación depende de los costes de remoción del estéril y de los precios de venta. La fijación de su valor exige una buena dosis de raciocinio y cautela: representa una frontera de las operaciones a efectuar.

En el desarrollo de la programación se tenderá por los técnicos responsables a producir cantidades lo más constantes que sea posible de materiales de desmonte y de mena, atendiendo a una mejor adaptación a las necesidades del mercado y a una plena utilización de los elementos de producción. Los valores de  $R$  han de variarse, pues, convenientemente de modo que se adecúen ágilmente a una planificación coherente. Los criterios que determinan los valores de los taludes en los períodos intermedios de la explotación no podrán ser, pues, rígidos en atención a estas consideraciones. Unos taludes demasiado conservadores influirían beneficiosamente en las relaciones de desmonte de etapas posteriores, pero reclamando unos mayores montantes dinerarios en caja, cuyos costes de financiación no pueden ser despreciados en una ortodoxa política económica.

En orden a una mejor fiscalización, a una mayor elasticidad de las operaciones y al manejo de unos más eficaces elementos de juicio para sentar los valores más convenientes de las pendientes de los taludes —dentro de los límites que garanticen lo estable y lo rentable de los mismos—, Brink y Jennings, de la Universidad de Witwatersrand, introdujeron en 1963 el concepto de relación de desmonte instantáneo  $r$ , referido normalmente a los intervalos usuales de control técnico o económico de la empresa.

La relación de desmonte  $R$  es una función indirecta del factor tiempo  $t$ , cuya característica sería de muy difícil formulación matemática. Cabe, pues,

postular en función de la geometría de la roza y de la del yacimiento, así como de la planificación de los trabajos:

$$1.^{\circ}) \quad R = R(h) = \frac{V_1 - V_2}{V_2} = \frac{f_1(h) - f_2(h)}{f_2(h)}$$

siendo

- a) los valores de los ángulos de talud constante
- b)  $h$  la profundidad alcanzada por la roza en un momento dado  $t$
- c)  $V_1 = f_1(h)$  el volumen total interesado por la explotación a roza abierta.
- d)  $V_2 = f_2(h)$ , volumen del mineral recubierto por el diseño de roza elegido.

2.^{\circ})  $h = h(t)$ , según la ley que se derive de la planificación adoptada.

Se define, pues,  $r$ , relación instantánea de desmonte, como el valor de

$$r = \frac{dV_1 - dV_2}{dV_2} = \frac{\frac{\partial f_1(h)}{\partial h} - \frac{\partial f_2(h)}{\partial h}}{\frac{\partial f_2(h)}{\partial h}}$$

$$r = \left[ \frac{\frac{\partial f_1(h)}{\partial h}}{\frac{\partial f_2(h)}{\partial h}} - 1 \right]$$

$r$  es un muy valioso exponente que puede, por su doble dependencia de  $h$  y de  $t$ :

1. Servir de referencia correctora de la configuración espacial, y de los volúmenes implicados, en un diseño no rígido de la corta, valiéndose de las medidas tomadas en los intervalos fijados.

2. Ser instrumento de control de las operaciones económicas, clave para mantener, a lo largo del tiempo de la explotación, las predicciones hechas de los beneficios en sus valores máximos con las correcciones oportunas.

No cabría, por supuesto, postular la dependencia de  $R$  de la variable  $h$  en el caso de un yacimiento de una geometría regular dispuesto horizontalmente bajo una superficie exterior también horizontal. El tipo normal de descubierto de lignitos o fosfatos, por ejemplo.

La figura 3 muestra casos particulares de rozas abiertas en las que se esquematiza la evolución de las mismas de modo simplificado y en las que se pone de manifiesto la necesidad de un ritmo variable y, por tanto, la

disposición de los taludes para mejor satisfacer lo dicho anteriormente.  $\alpha$  y  $\beta$  son ángulos finales de talud. Los valores de  $\gamma$  y  $\delta$  deberán oscilar entre los valores mínimamente estables y mínimamente económicos. La figura 3b se aproxima al caso de muestra Corta Atalaya, con el hueco inicial ya removido.

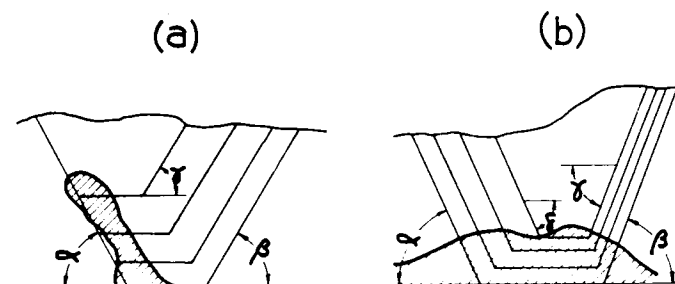


Fig. 3

Opinamos que un análisis profundo de las relaciones entre los valores de la relación de desmonte  $R$ , la relación instantánea  $r$  y los valores de los ángulos que representan la estabilidad de los taludes —y de los cuales aquellas relaciones son técnicamente función—, nos llevará en el futuro al asentamiento de principios básicos para acometer decisiones en la planificación de las rozas abiertas. Intentos de alcance muy limitado y sobre suposiciones ideales han sido emprendidos por el propio Jennings, cuyos resultados, expresados gráficamente, recogemos por el interés que encierra una profundización en tal sentido para nuestro concreto caso de Río Tinto, y también para un mejor centramiento de todo lo anterior:

I. La figura 4 representa una familia de curvas que indican los valores de la relación de desmonte  $R$ , según los distintos ángulos de talud adoptados, en función de la profundidad  $h$  de la excavación.

Se parte de una corta ideal, esquematizada en 3b, en la que se presupone un ángulo constante y los otros tres de las caras restantes de la excavación iguales a  $\beta$ . La geometría del hueco abierto responde a un tronco de pirámide rectangular en cualquier momento.

II. La figura 4b nos ofrece una serie de curvas representativas de los valores de las relaciones instantáneas  $r$  en función de la profundidad, según distintos ángulos de talud y también para la misma supuesta corta.

Se observan los bajos valores iniciales y los muy altos finales para los valores de  $r$ , en el caso particular de geometría considerado.

De la contrastación de ambas curvas se deduce fácilmente la necesidad ya predecida de ir fijando para  $r$  valores parciales que eviten los elevados

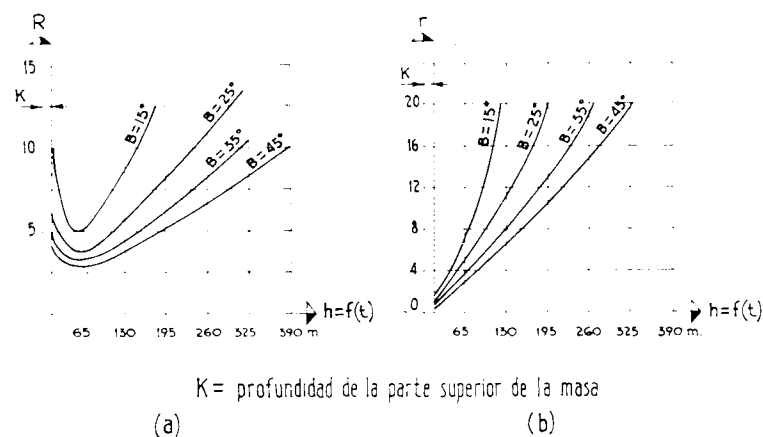


Fig. 4

de las etapas finales que superarán, en el caso estudiado, con creces el valor máximo  $R_m$ , con aumento de los costes de los dineros de operación, y ello independientemente de la bondad del valor general  $R$ .

Para los distintos tipos de geometría de los esquemas en trabajos, obtendremos diferentes interrelaciones de  $R$  y  $r$ .

III. Cabe encontrar una relación gráfica entre los ángulos de talud y los valores de  $h$  con vistas a fijar zonas de trabajo de estabilidad y de rentabilidad, pero en el estado actual del análisis de la estabilidad de taludes, sólo es posible verificar supuestos en el marco de la Mecánica de Suelos y no en el de la Mecánica de Rocas, en el que se dan nuestros taludes de Río Tinto. Volvemos a hacer hincapié en el interés que tendría para la planificación de nuestros trabajos el hallazgo de estas relaciones.

#### *La Mecánica de Rocas y la Minería*

Vayan, por último, unas digresiones en torno al enunciado hecho, dado el íntimo compromiso de esta comunicación con la Mecánica de Rocas y lo sugerente de la misma para la minería en conjunto.

Decía Lord Kelvin: «When you can measure what you are speaking about and express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind». Este juicio, sobre el que realmente descansa la ciencia moderna, se saca a colación frecuentemente para definir el quehacer de la Mecánica de Rocas y, realmente, de todo aquello que va entrando en vías de rigor.

El comportamiento resistente de las rocas dadas «in situ» es su objetivo.

No puede, pues, dejar de estar implicada en ella la Minería. Lo lamentable es que el compromiso haya sido tan tardío. Ya de tradición el minero ha sido increíblemente intuitivo y osado. Abi está la minería sudafricana. Sin embargo, Sudáfrica gasta hoy en investigaciones más que ningún otro país, porque aquella intencion no encaja en el tratamiento actual, casi científico, del comportamiento de las rocas y de las mismas inversiones. Ha llegado el momento de considerar a la Minería no sólo como un arte, sino también como una ciencia. Desde que el primer fallo rocoso ocurrió allí debieron estar presentes consideraciones derivadas de observaciones —sin querer caer en la redundancia— realmente reales. Las tan manoseadas expresiones de rocas competentes e incompetentes eran —y son aún casi— términos emitidos intuitivamente que necesitábamos para respaldar nuestros proyectos. La ingeniería civil ha procedido con los materiales que maneja de muy distinto modo. Se dice que la minería está cayendo en los dominios de ésta; lo que ocurre es que a ésta se le está dotando de rigor. Afortunadamente, y surgiendo de las lógicas reacciones frente a las crecientes presiones de naturaleza económica que la Minería soporta, se ha comenzado a calar el decisivo papel que sobre los métodos de extracción y los costes poseen los análisis del comportamiento de las rocas y la instrumentación que los nutre de datos «no aparentes».

Sin embargo, la Mecánica de Rocas —centrada en los problemas de la Minería— topa en sus realizaciones con escollos que indudablemente están retrasando sus esperadas aportaciones. Esos escollos son la falta de:

1. Hombres capaces.—Se necesita la completa dedicación de hombres con una buena preparación físico-matemática y una más que regular capacidad de análisis.
2. Medias.—Se trata de una investigación cara, si se desean conclusiones ciertas.
3. Eco necesario.—Cada vez más acentuado, pero aún hay una gran inercia a salir de las prácticas rutinarias.
4. Comunicación inteligible.—Entre el hombre minero, industrialmente comprometido, y el especialista, que juega con realidades expresadas, muchas veces abstrusamente, mientras que aquél lo hace con realidades objetivizadas en el puro plano de sus realidades.

Evidentemente son los medios los decisivos, como en toda investigación. Hemos de llevar a las sociedades mineras y a los organismos oficiales —ya que las cantidades necesitadas se salen de las posibilidades de las empresas— el convencimiento de adoptar una postura más generosa en cuanto a inversiones de investigación. Subrayemos que la Compañía Española de Minas de Río Tinto, en nombre de la cual hablamos, cuenta, entre las excepciones, con una Dirección siempre alerta a lo que signifique progreso. De justicia es reconocerlo.

El Ingeniero Jefe de estos trabajos de investigación va a situarnos dentro de los dominios estrictamente técnicos de los mismos.

### III. LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y LAS ROZAS ABIERTAS EN ÁMBITOS ROCOSOS

Sentada la necesidad que tenemos de profundizar la excavación de nuestra Corta Atalaya, nuestro empeño ha de ser el diseñar una corta con una adecuada reacción resistente de sus taludes, deseablemente estables y rentables, procurándonos, además, lógicas y respaldadoras medidas de seguridad y vigilancia. Recurrimos para ello al análisis de sus características y de sus posibles operaciones, reuniendo previamente el máximo de información que esté en nuestras manos obtener. Todo un extenso programa de investigación que ha sido calificado como uno de los más ambiciosos en desarrollo, a escala universal, en Mecánica de Rocas.

No se ha actuado, pues, pasivamente frente a los problemas técnicos creados por el proyecto de la futura Corta. Se tiene concertada, desde hace dos años, una investigación con la «Royal School of Mines» de Londres, institución miembro del prestigioso Instituto de Ciencia y Tecnología «Imperial College», cuya colaboración —especialmente en lo tecnológico— se nos antoja muy valiosa.

#### *Análisis crítico de conjunto*

No pretendemos realizar en este apartado un desarrollo doctrinal de los supuestos teóricos de la estabilidad de taludes. Sólo una exposición general, de tipo crítico, del estado en que se hallan los problemas de los taludes en su doble versión de configuración de tensiones y de estabilidad. A través de ella, quien no esté comprometido en estos estudios, pero sí interesado en sus conclusiones, podrá intuir y sopesar lo que se ha avanzado y, al mismo tiempo, el grado de menesterosidad en que se halla. En segundo lugar, sentaremos las bases de un diseño de excavación estable.

Se han hecho multitud de intentos para llegar a un correcto planteamiento de los problemas que los taludes y su estabilidad implican. Se han elaborado, como fruto, ingeniosos cuerpos teóricos alrededor de los mismos, pero se ha obtenido muy poco que tenga una mediana coincidencia con la realidad, oculto ello a menudo por unas farragosas vestiduras de símbolos matemáticos. Estamos, pues, a este respecto, aún en plena fase investigatoria, fase de la que nosotros mismos nos encontramos en dependencias dada la importancia de encontrar soluciones que se ajusten a las circunstancias de nuestros taludes en Río Tinto. Estos taludes dados en un ámbito esencialmente rocoso. Desechamos, pues, las soluciones ofrecidas por la Mecánica de Suelos, extra-

polaciones normalmente inaceptables para las taludes rocosos, y que por desgracia privan en el 90 por 100 de la literatura al caso, de monótonas reiteraciones. El que no dispongamos de soluciones correctas no nos debe obligar a aceptarlas inconsecuentes con lo que intentan explicar. Otro cosa es que ambas interpretaciones —la de la Mecánica de Suelos y la de la Mecánica de Rocas— coincidan en dar énfasis a las operaciones de ciertos factores comunes.

Por tanto, estamos en un período en el que el papel de los métodos de análisis empíricos pesa sobre los métodos de análisis teóricos. Una investigación detenida de las condiciones de contorno —externas e internas—, un mejor conocimiento de los criterios de colapso o fallo relativos a grandes masas, de los propiedades resistentes de las rocas, un mejor enfoque de los problemas de permeabilidad —siempre refiriéndonos a macizos rocosos—, una justa valoración de los esfuerzos aún desconocidos, una eficaz prospección de aquellos elementos rocosos virtualmente inaccesibles, son bases sobre las que tenemos que fundar todo proyecto relativo a un talud rocoso. No tenemos mucho más por ahora. En este sentido está encaminada la investigación programada para Río Tinto. Afortunadamente disponemos hoy de muy variados dispositivos, que nos permite un conocimiento de los factores operantes, y de los cuales su ulterior desarrollo conducirá a una información ajustada a condiciones reales que, a su vez, nos llevarán, con toda probabilidad, a deseables generalizaciones teóricas de correcta fundamentación.

#### *Tendencia de los métodos de análisis*

Para el estudio de la distribución de tensiones y del comportamiento de los taludes es evidente la necesidad de partir del establecimiento de ciertos supuestos. El valor práctico de las conclusiones que se obtengan dependerá del grado de adaptación de los postulados supuestos al estado real de tensiones y a las verdaderas respuestas de las rocas.

De modo general, se parte de dos postulados divergentes:

1. El volumen rocoso es considerado como un continuo, cosa que permite el cálculo de redistribuciones de tensiones, y de las deformaciones surgidas, ante una excavación operante en el mismo. Los métodos de análisis que surgen de este supuesto, aparte de entrar en conflicto con una realidad cargada de discontinuidades, como consecuencia de la historia geológica o de la propia excavación —minera en nuestro caso—, se enfrentan con su dependencia de unos eficaces métodos numéricos, a utilizar especialmente en los problemas de contorno.

Afortunadamente se ha desarrollado en los últimos años el fertilísimo método de los elementos finitos, en los estudios de análisis de tensiones, que considera el dominio en cuestión —bidimensional o tridimensional— dividido

en  $n$  sub-dominios, todo ello con vistas a facilitar el encuentro de soluciones numéricas a través de un «computer», dentro del no complejo marco del análisis matricial. Este método simplifica el tratamiento de los problemas que la distribución de tensiones de las rocas plantean cuando éstas reúnen las notas de no-homogeneidad, no-linearidad elástica y anisotropía.

2. El volumen rocoso es considerado como un discontinuo de bloques rígidos cuya estabilidad se estudia a través de métodos que involucren una reconsideración estática y dinámica de aquellos bloques. Someten a análisis tres tipos potenciales de colapso de un talud: por deslizamiento, por rotación y mixto.

Estamos, pues, enfrente de dos grupos de procedimientos de trabajo radicalmente enfrentados. El primer grupo responde a la llamada escuela americana. El método de trabajo de los elementos finitos le está rindiendo frutos que se puede presumir serán de muy trascendente alcance. El segundo grupo es el vertebrado, prácticamente en torno a la conocida escuela de Salzburgo, y cargado de razón en cuanto a la postulación de que son las superficies de falla, de diaclasado y en general de debilidad las que gobiernan la estabilidad de un talud.

Las soluciones distan de ser reales debido a la propia naturaleza de los postulados iniciales. La bondad de las mismas dependerá —repetimos— de la aproximación de los supuestos a la masa rocosa constituyente del talud, con diferentes gradaciones de los caracteres de discontinuidad o continuidad, como es lógico.

#### *Diseño de una roza abierta estable*

Una excavación produce en un corto espacio de tiempo —al lado del de las escalas geológicas— una alteración del estado de equilibrio de las tensiones presentes, con movimientos de reajuste cuya magnitud va a depender principalmente de :

1. Estado residual de tensiones, heredado de la historia tectónica de la zona en que se da y de la propia excavación.
2. La excavación futura, tanto más operante cuanto más ambiciosa.

O sea, una corta está dada en un ámbito en el cual preexiste un campo de tensiones y, correlativamente, unas deformaciones características del mismo, introduciendo una anomalía, cambiante a medida que el hueco progresa con gradual variación de su forma y magnitud. Tendremos, pues, una configuración de tensiones función del campo inicial, del diseño programado y de su velocidad de ejecución. Los gradientes de deformación estarán capitalmente determinados por las propiedades mecánicas de las rocas y por los factores estructurales, de modo que todo cambio en la distribución de tensiones, trae consigo un cambio de dichos gradientes.

Este mutante campo de tensiones se halla, pues, en estrecha convivencia funcional con la geometría de la excavación, con la trama estructural del ámbito rocoso, con el contenido en agua de éste, con las características resistentes de las rocas que lo integran, y con factores barodinámicos que ocasionalmente puedan actuar; todo ello determinando los factores condicionantes de la estabilidad de los taludes del hueco.

#### *A. Geometría de la excavación.*

Modelos matemáticos y ensayos en laboratorios facilitados por la disposición de una información representativa de los campos de tensiones de excavaciones reales —debido al avance en la determinación, en el campo, de las deformaciones parejas—, han conducido a conclusiones no exactamente reales, pero sí de estimable valor indicativo.

Forma, tamaño, profundidad y ángulos del talud son los parámetros a considerar en la geometría en todo hueco.

La figura 5 muestra muy simples casos de basación ideal que son elo-cuentes por sí mismos, en cuanto a la forma:

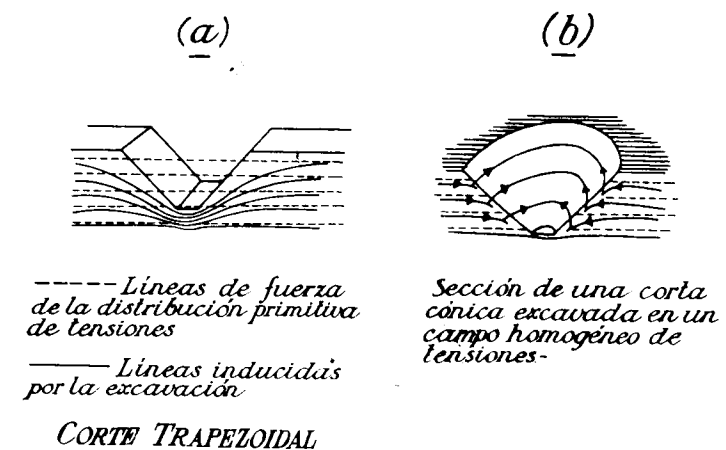


Fig. 5

Las excavaciones de las cortas suelen ser, en cualquier sección horizontal, aproximadamente elípticas o combinaciones de arcos de elipses. Aunque nos parece obvio, veamos que responde a una mejor disposición frente a las tensiones cuando existe un desequilibrio en su distribución. La figura 6 aclara lo dicho:

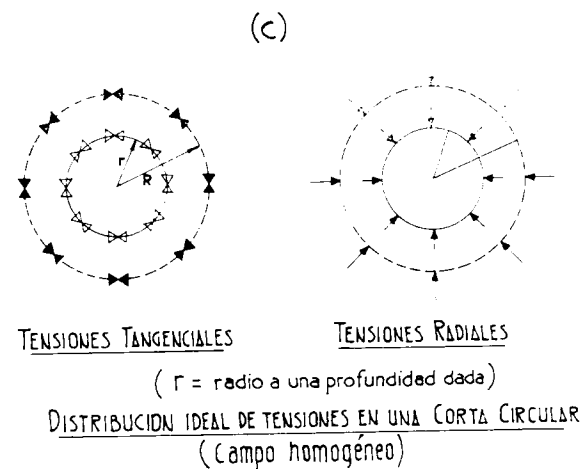


Fig. 5

Se supone una corta circular cargada diferentemente, según dos ejes, por el campo de tensiones existente. Cuando las rocas de los taludes sean poco resistentes a la tracción, la estabilidad de los taludes va a afectarse gravemente. Una excavación elíptica, con el eje mayor paralelo a la aplicación de los esfuerzos principales, mejoraría la estabilidad del conjunto, como muestra 6b.

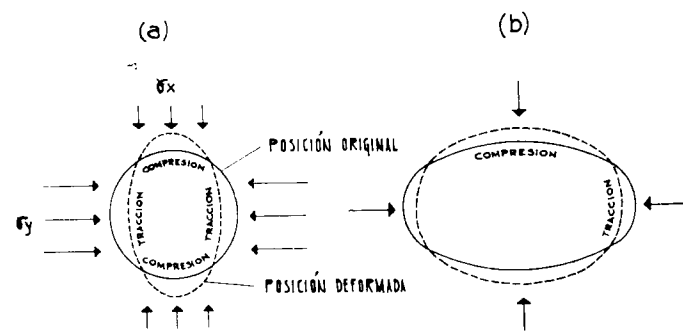


Fig. 6

Otras conclusiones, obtenidas con modelos elásticos por el Bureau of Mines —USA—, más bien de valor indicativo —insistimos— a propósito de la geometría y que merecen ser subrayadas son:

1. El aumento de tamaño lleva consigo la extensión de la región de relajación situada detrás de las caras de los taludes.

2. La profundización por debajo del nivel para el cual se diseñó unos taludes estables, resulta más peligrosa que el escarpar estos taludes.

3. Una superficie de talud cóncava (ángulos crecientes con la profundidad) aumenta la resistencia de las paredes. Si convexa, lo contrario. Esto último delata la negatividad de las funciones de los bancos respecto de la estabilidad general de los taludes.

4. Los desmontes situados cerca del perímetro de la corta cargan las paredes de los taludes y pueden, además, elevar peligrosamente el nivel de la superficie freática.

5. La existencia de labores subterráneas debilita la resistencia de los taludes.

### B. Trama estructural y propiedades de las rocas.

La manifestación de los gradientes de deformación es una función de las propiedades de las rocas y de la geometría de sus discontinuidades. Las tensiones residuales tienden a concentrarse en superficies en las cuales se manifiestan deformaciones de cizalladura de valores medios altos, superficies a través de las cuales los macizos rocosos colapsarán preferiblemente. Las tensiones determinadas por la excavación incrementarán estas deformaciones, pudiendo superar a los valores resistentes al esfuerzo de corte de la superficie en cuestión, con mayor probabilidad de ruina. Estas superficies de probable deslizamiento están ligadas normalmente con la trama de discontinuidades: fallas, diaclasamiento, estratificación.

Por tanto, un diseño estable de una corta requiere, a este respecto:

1. Un conocimiento detallado de las discontinuidades.
2. Una determinación estadística de los modelos de fractura con estimación de las energías de deformación acumuladas. Disposición de las discontinuidades respecto de las tensiones actuantes.
3. Determinación de los caracteres resistentes de las rocas mediante ensayos apropiados, con especialísima atención de los determinantes de los valores resistentes al esfuerzo de corte en los planos de juntas.

Resumiendo, un conocimiento bastante aproximado de la anisotropía de los taludes.

### C. Presiones de agua y modelos de flujo.

La presión de agua u —presión de agua de junta o fisura en Mecánica de Roca— es el factor que condiciona decisivamente la estabilidad de una roza por su estrecha relación con la resistencia al esfuerzo de corte —ligado

éste a los planos preferentes de deslizamiento—, relación definida por la fórmula de Coulomb

$$s = c_1 + (\sigma - u) \operatorname{tg} \Phi_1$$

en la que

- $s$  = esfuerzo de corte en el plano de junta,
- $c_1$  = cohesión efectiva en dicho plano,
- $\sigma$  = esfuerzo normal al mismo,
- $\Phi_1$  = ángulo efectivo de rozamiento interno,
- $\sigma - u$  = tensión efectiva.

A medida que  $u$  aumenta, se reduce el valor de  $s$ . Se dice que opera el efecto «boyante» del agua. Es debido a él el que ocurra la mayoría de los fallos de taludes.

La permeabilidad, entendida como conductividad hidráulica a través de las fracturas, resulta básica para la determinación de los modelos de flujo que conduzcan a la exacta posición de los niveles freáticos y de las aguas «colgadas», con sus fluctuaciones, para:

1. Conocer los valores de  $u$  a utilizar en las estimaciones de los taludes.
2. Colocar correctamente las labores de drenaje.

Finalmente:

#### D. Efectos barodinámicos.

Las voladuras, y a mayor escala los fenómenos sísmicos —aunque éstos con valores más bajos de la frecuencia de onda—, imprimen violentas aceleraciones a los macizos rocosos, cuyos efectos deben valorarse para proyectar taludes en condiciones próximas a las de estabilidad crítica.

\* \* \*

Hemos querido definir con cierta precisión los factores participantes en el diseño de una corta estable en sus diferentes estadios, ya que su consideración clarificará y justificará, aparte del análisis de los factores económicos efectuados en la primera parte de esta comunicación, el programa de investigaciones proyectado para Río Tinto, ambicioso, pero inexcusable ante los riesgos que entraña la pretendida extensión.

#### IV. PROGRAMA DE INVESTIGACIONES PARA CORTA ATALAYA

##### *Características estructurales y litológicas del marco rocoso*

De modo breve y previamente al desarrollo del programa de investigaciones, ambientemos litológica y estructuralmente la excavación de la Corta Atalaya.

La región —alineaciones de la parte S de la Sierra Aracena, extremo occidental de Sierra Morena— posee una tectónica hercínica. Las rocas son esencialmente de edad paleozoica, destacando las devónicas y carboníferas. Todas las rocas ígneas de la zona responden a rocas de la serie espilita-queratófido, típicas de geosinclinal. Pórfidos —interpretados como materiales intrusivos hasta hace poco— y diabasas equivalen en la más precisa sistemática moderna a tipos riolíticos y espiliticos, respectivamente.

Encontramos principalmente dos variedades litológicas: *variedad sedimentaria*, formada por pizarras arcillosas, arcillitas y grauwackas; *variedad volcánica* de rocas ácidas, infrayaciendo, constituida por riolitas, ignimbritas, tobas, polvos y cenizas, procedentes de un vulcanismo ácido en los inicios de la orogenia hercínica. No aludimos a las extrusiones básicas, de tipo espilitico, no características de la zona estudiada, y consecuencia probable de un vulcanismo preorogénico.

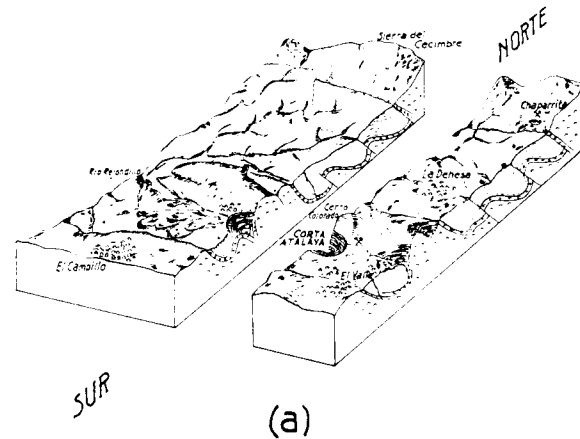
Entre las diversas interpretaciones tectónicas dadas del área —llevándonos siempre de F. Rambaud, sistematizador de los heterogéneos trabajos efectuados y gran estudioso de la misma— parece ser la más acertada la que postula la inclusión de toda la zona, hasta el final del Devónico, en el geosinclinal hercínico, con formación probable de arcos insulares simultáneamente con el levantamiento del geoanticlinal de Aracena, dando lugar aquéllos a un vulcanismo primero básico y, posteriormente, ácido. Al final de este período exhalativo se depositan los criaderos de piritas que se encuentran, pues, en la transición de las vulcanitas ácidas a las pizarras carboníferas suprayaciendo sobre aquéllas. A veces, también, pequeños criaderos de manganeso. Durante el plegamiento hercínico —Carbonífero, fase astúrica— el conjunto de estas vulcanitas y pizarras se pliega, operando la compresión en dirección N-S aproximadamente. Una característica notable de este plegamiento es el fuerte crucero de las rocas sedimentarias —e incluso de ciertas volcánicas—, normalmente de rumbo N 80° W. Se manifiestan también dos sistemas de fallas, uno de fallas inversas —dando lugar a cabalgaduras— con rumbo N 80° W, y otro de cizalladura de rumbos N 50° E, y N 25° S (falla Eduardo, principalmente, separando San Dionisio de filón Norte y Sur).

El conjunto estructural da, así, un sinclinorio de las rocas volcánicas, un eje E-W, que se cierra al Este, como fácilmente puede verse en el esquema



tridimensional adjunto (fig. 7), aflorando en la parte meridional un anticlinal riolítico con depósitos pizarrosos en los flancos.

### Diagrama estructural del área de la excavación de Corta Atalaya



(a)

Fig. 7

En el flanco Sur de este anticlinal yace precisamente la masa San Dionisio, que sufrió también los efectos del plegamiento, presentando una estructura sinclinal aguda con fracturación manifiesta en la parte central, correspondiente al eje del pliegue que buza hacia Levante. Por diferencia de densidad con los materiales encajantes cabe suponer un hundimiento de la masa, equivalente a un diapirismo negativo, según observa Rambaud.

El plegamiento del banco volcánico unido a los fenómenos de removilización, hidrotermales e impregnaciones fumarólicas, dieron lugar a la formación de los pórfidos mineralizados. La erosión operó profundamente a lo largo del Secundario y Terciario. Las aguas enriquecieron secundariamente los criaderos, formándose las monteras de gossan y, por arrastre, bancos de limonita.

En la parte Poniente de la masa San Dionisio se halla la Corta Atalaya, en la que se nos muestra petrológicamente, además de la masa piritosa —muy fracturada— en su base:

#### Cara Norte.

Diversos tipos de pórfidos, conservada la denominación tradicional de los materiales riolíticos:

- a) Pórfidos con indicios de stockworks o vetillas mineralizadas y con resquebrajaduras, de las tensiones operantes, rellenas de cuarzo.
- b) Pórfidos con profusión de stockworks.
- c) Pórfido muy cizallado y relativamente poroso, conservando incluso en verano una relativa humedad. Se le encuentra más bien en zonas próximas a la masa piritica.
- d) Pórfido zonado, de hecho riolita de deposición fluidal con notable crucero y contenido de cuarzo.

También encontramos —hacia el Poniente— el llamado conglomerado, de naturaleza pizarrosa con una bien definida estructura de bloques y cruceros buzando con rumbo  $20^\circ$  hacia el hueco de la excavación.

#### Cara Poniente.

En la parte Norte de la misma encontramos tobas y polvos volcánicos y en la Sur rocas piroclásticas y pizarras lixiviadas. En general, materiales muy descompuestos por meteorización y lixiviación, de difícil reconocimiento y de escasa valoración resistente.

#### Cara Sur.

Situado inferiormente, el mismo pórfido Norte, plegado y con los planos de crucero orientados hacia el hueco. El eje de este pliegue buza hacia el Este de modo suave y positivamente respecto de la estabilidad de la excavación. Superiormente, la pizarra con un acentuado crucero  $N 80^\circ W$  con planos paralelos a la cara de los bancos.

#### Cara Levante.

Los mismos paquetes de pizarras, pero presentando sus planos de crucero perpendicularmente a los citados bancos. El cambio de orientación de los bancos, en su transición de Sur a Este, da lugar a una más bien aparente zona de debilidad. En la esquina septentrional nos encontramos con un sector de materiales de relleno procedentes de minados antiguos.

#### Enfrentamiento técnico

Nos encontramos, pues, en el concreto caso de Corta Atalaya con una excavación que reúne:

- 1) Ser con unos taludes tan escarpados la corta con una relación  $\frac{\text{diámetro}}{\text{profundidad}}$  más pequeña que a una tal profundidad se da probablemente en el mundo.

2) La presencia de unos sectores rocosos profusamente variados en sus valores resistentes, que dan lugar a condiciones de estabilidad de valoración relativa (caso del pórfido-norte, sector en sí muy resistente, pero de estribos sumamente débiles).

3) Una disposición muy poco regular de los elementos rocosos y estructurales dada la naturaleza geológica del área en que se insertan.

4) Presencia de esfuerzos de valoración desconocida y fácilmente adivinables en dirección N-S según deduce de la disposición E-O del eje del sinclinatorio de los elementos volcánicos de la zona.

5) Darse en una región de valores medios de las lluvias muy altos (738 litros por m<sup>2</sup> y año).

Afortunadamente la Corta posee en su estado presente una forma casi circular, ideal para conjugar factores tan adversos según vimos, pero al disminuir la curvatura de la misma y aumentar su profundidad es necesario meditar en:

1) La alteración de las situaciones de equilibrio en las zonas fronteras de volúmenes rocosos de diferente caracterización resistente.

2) La disminución de resistencia de las paredes de los taludes de modo que las tensiones actuantes en la roca superen el valor resistente de aquéllas, dando lugar al colapso total de un sector, de consecuencias imprevisibles.

En lo dicho queda implícito un evidente riesgo. El problema es de incontrovertible interés técnico. Hemos de arrostrar unas probables consecuencias negativas, pero hemos de evitarlas o reducirlas con adecuadas medidas de seguridad y de vigilancia, juntamente con un necesario enfoque económico del diseño de los taludes. Hemos acudido a la Mecánica de Rocas en busca de las necesitadas soluciones, pero yendo con una justa apreciación previa de sus posibilidades y de las operaciones reales de sus conclusiones. La Mecánica de Rocas es una técnica aún en desarrollo a pesar del rápido progreso experimentado. De ahí la necesidad de realizar, para nuestro proyecto, una investigación de desarrollo de dispositivos de medidas y de análisis de aquellos factores que, si bien están perfectamente explicados y ligados teóricamente, sin embargo, sus valores en la realidad no nos son conocidos, o bien, lo son pero no con la precisión o con la estabilidad en el tiempo deseadas, y que nuestro caso pueda requerir.

El vasto programa de investigaciones pensado lo ha sido con una quintuple finalidad, de acuerdo con los factores que aconsejan el diseño de una roza estable y explotable económicamente:

1. Ensayos de determinación de propiedades resistentes de las rocas.
2. Determinación de niveles de agua y de sus presiones.
3. Estudio de los detalles estructurales de los volúmenes rocosos.

4. Medidas de desplazamientos.
5. Efectos de las voladuras.

Adjuntamos un esquema funcional de los trabajos programados.

#### *Ensayos de determinación de propiedades resistentes de las rocas*

De todos los caracteres resistentes de un macizo rocoso resultan básicos para el diseño estable de los taludes de una corta los valores de la resistencia al esfuerzo de corte en las juntas del mismo, así como los valores de los ángulos de fricción interna, en estrecha relación con los valores críticos de los ángulos de talud.

Dados los altos valores de las presiones normales que cabe esperar de los recubrimientos en Corta Atalaya —los 170 Kgs. cm<sup>2</sup>—, se ha construido una máquina para ensayos de corte que, aparte de ser la mayor que existe en este momento, es absolutamente original en concepto y en diseño, destacando la introducción de un sistema para medir la carga lateral operante sobre la probeta en ensayo. Resulta obvio hablar de la trascendencia de las conclusiones que puedan obtenerse, aplicables a los criterios formulables acerca de la geometría de la Corta.

Esta máquina puede operar con diversos valores de la presión normal actuante con una junta, alcanzando las 100 Tms. su capacidad total tanto respecto de la carga normal como de la de cizalladura. Pueden ensayarse probetas de hasta 12" de diámetro y 25" de largo; la carga vertical se aplica mediante un gato hidráulico y la de cizalladura o corte por un gato de tornillo o husillo en connivencia con una caja de velocidades que permite regular la velocidad de desplazamiento entre 0.1  $\frac{\text{pulgadas}}{\text{minuto}}$  y  $30 \times 10^{-6} \frac{\text{pulgadas}}{\text{minuto}}$ . La velocidad se mantiene constante mediante un servomecanismo. Las cargas laterales inducidas se registran mediante «strain gages» o células de deformación.

La foto adjunta (fig. 8) da una justa idea de la magnitud de la máquina y de sus controles. Se observa la presencia de un «Data Logger» o registrador de información, de 100 canales, en el que se van almacenando los valores de todos aquellos factores que se consideran capitales en el transcurso del ensayo. En 2,5 millones de pesetas se ha cifrado el coste total de la máquina.

La figura 9a representa el diagrama  $\sigma$  (resistencia de corte) —  $\tau$  (desplazamiento). A partir del valor K del desplazamiento la resistencia de la roca al corte disminuye peligrosamente. La figura 9b esquematiza la materialidad física del ensayo.

Las dimensiones de las probetas que se están ensayando son 9" de diámetro y 15" de largo. Pórfidos y pizarras centran esencialmente la atención.

## ESQUEMA DEL PROGRAMA DE MECANICA DE ROCAS PARA RIOTINTO

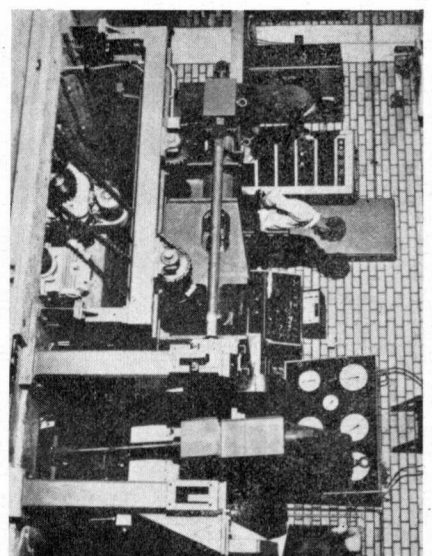
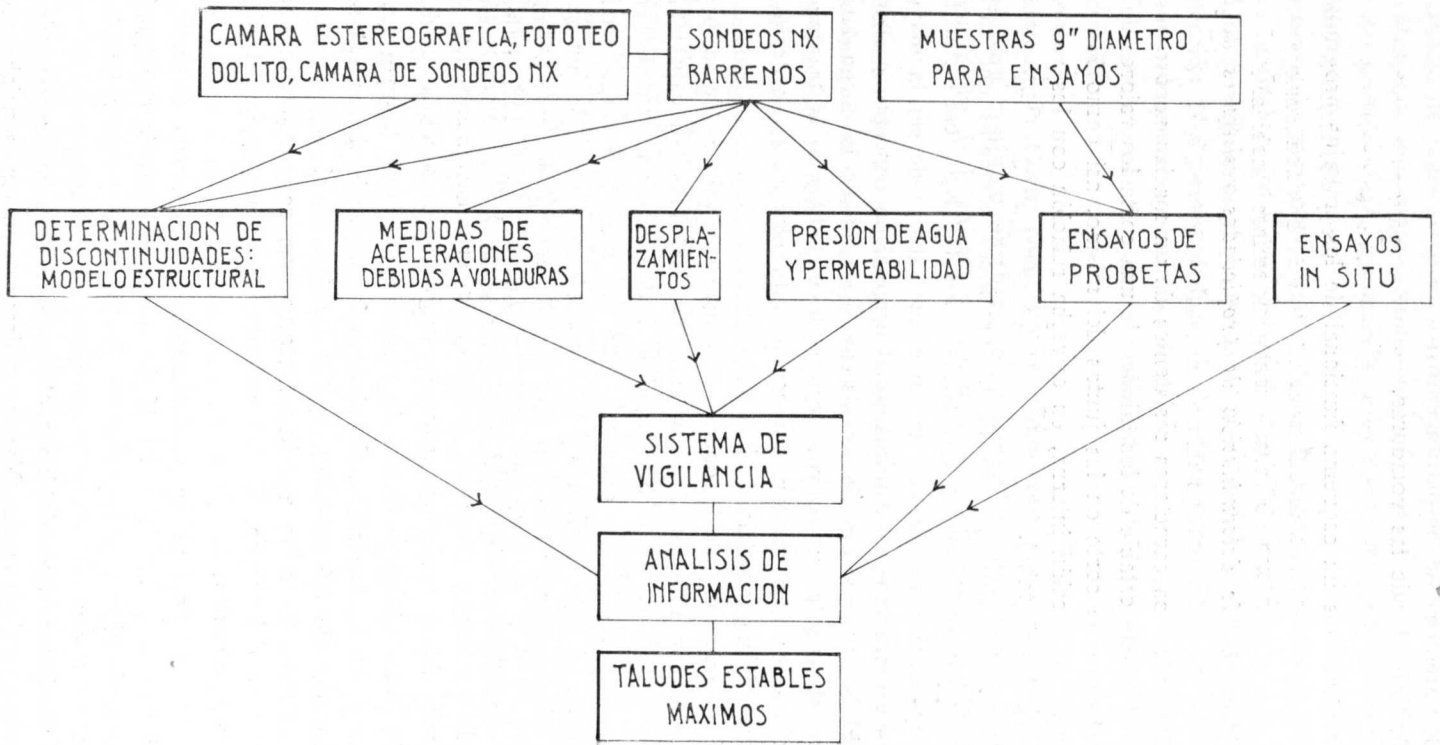
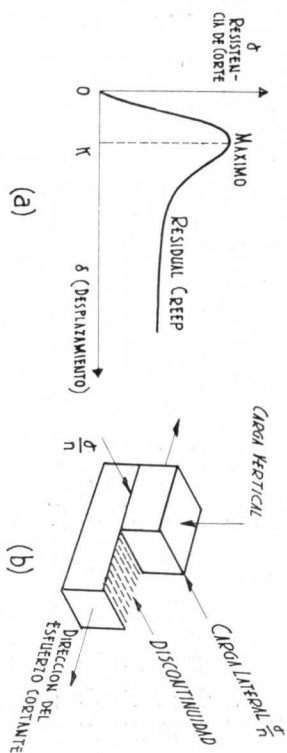


Foto fig. 8

Resumimos los valores medios obtenidos —en condiciones húmedas— del aún insuficiente número de ensayos realizados para rendir conclusiones definitivas. Las profundidades consideradas para la determinación de las cargas verticales han sido la de la pizarra y la del pórfido en el estado actual de la Corta (los 175 m., o sea, una carga vertical de los 46 Kgs./cm<sup>2</sup>).



ENSAYOS DE CORTÉ

Fig. 9

En pizarra.

El valor medio del desplazamiento necesario para obtener el valor resistente máximo al esfuerzo de corte, en una superficie de fractura, es de 1,1 pulgadas.

En este máximo el valor medio del ángulo de fricción interna es de  $37,5^\circ$ . Pero vencidas las asperezas iniciales, este valor cae en la parte de deslizamiento residual a los  $30^\circ$ .

El valor encontrado de  $\varphi$  responde a los valores actuales de los ángulos de talud. El desplazamiento de  $1,1''$ , correspondiente al máximo valor resistente, responde a la idea, localmente generalizada, de que antes de colapsar «la pizarra avisa». La carga lateral medida en la cima del valor resistente oscila entre  $1/25$  y un  $1/30$  del esfuerzo normal aplicado, lo que disminuye la dependencia de la resistencia de la pizarra respecto de los estribos.

#### *En pórfido*

El desplazamiento relativo del máximo esfuerzo posee un valor medio de  $0,22''$  correspondiéndole un valor medio de  $\alpha = 41^\circ$  que cae, cizallada la aspereza inicial, al valor  $\varphi = 29^\circ$ , inesperadamente bajo. Aquí nos cabe decir, a la vista del valor  $0,22''$  que «el pórfido no avisa». Los taludes del pórfido Norte parecen estar cargados, pero será necesario ahondar en el comportamiento mecánico de sus fracturas. Por otro lado, de los ensayos efectuados se deduce que el máximo valor del rozamiento, a lo largo de una discontinuidad, lo obtenemos cuando la carga lateral, normal a la carga del corte, representa  $1/6$  del esfuerzo normal aplicado. Al tomar valores menores la resistencia de rozamiento cae sustancialmente. De aquí la prudencia exigible al pretender disminuir la curvatura, o sea, ampliar la excavación, dado lo débil de los estribos del pórfido Norte y lo escarpado de sus taludes.

Los valores del factor de seguridad  $F$  que han sido calculados no nos merecen confianza. Se necesita un conocimiento detallado y previo de la estructura geológica y hasta una modificación del propio concepto de  $F$  dentro de una más real teoría de los fallos de los macizos rocosos.

También han sido calculadas otras características mecánicas como resistencias a la compresión, módulos de elasticidad y envolventes de Mohr. Dada su tangencialidad —relativa, por supuesto— con el comportamiento de los taludes de macizos fracturados, no cargamos la atención con la recopilación de estos valores.

Encierran gran interés, por el contrario, los esfuerzos que se están realizando para medir las tensiones acumuladas en las fracturas. El método a emplear se halla bosquejado en su casi totalidad y las medidas que se hallen incluirán los valores de las tensiones residuales. La servidumbre en que se encuentra la estabilidad de un talud respecto de estas tensiones hace innecesario todo énfasis.

#### *Estudio de los detalles estructurales de los volúmenes rocosos*

Hemos subrayado el fundamentalísimo papel que en el diseño de unos taludes estables desempeña el conocimiento de las discontinuidades y modelos de fractura.

Nuestras tentativas para la determinación de estas discontinuidades están encaminadas a una localización de las mismas, primeramente externa, tal como se muestran en las caras de los bancos, y, posteriormente, interna en el seno del medio rocoso.

#### *Localización externa.*

La fijación en el espacio de la posición de las discontinuidades visibles había sido ya efectuada en una cantera de Gales. Se empleó un fototeodolito Wild. Las placas fotográficas son examinadas mediante un estéreo-comparador y la información obtenida se pone en forma digital para, mediante un calculador, calcular la dirección, orientación y trama espacial de las discontinuidades que posean un carácter general y que nos darán los modelos o disposiciones típicas de la misma. Para la determinación estadística de los modelos de fracturas no generalizadas se someten a un riguroso análisis los resultados de comparar la información de las placas tomadas a distancias de **150-300** metros con las obtenidas a **10-30** metros.

Es fácil comprender que todos estos cálculos sólo pueden hacerse con ayuda de calculadoras electrónicas debido al gran volumen de información analizable.

El método es el mismo que el de la fotogrametría aérea, pero con la ventaja de la invariabilidad de los puntos de observación

#### *Localización interna.*

La pauta seguida por estas discontinuidades en la masa rocosa está siendo estudiada mediante una cámara, diseñada especialmente para este cometido, operando en sondeos NX. Esta cámara (véase fig. 10) tiene un diámetro externo de  $2\frac{3}{4}''$ , una longitud de 1,20 m. y un peso de unos 15 Kgs., pudiendo ser utilizada en un sondeo NX o mayor a una profundidad función del peso y resistencia del cable de suspensión, a prueba de aguas ácidas como la propia cámara. Una película continua de 16 mm. —en color— va siendo obtenida por sincronización de la rotación del film y del intervalo del flash con el movimiento vertical y ascendente de la cámara en el sondeo. Un espejo cónico de  $45^\circ$  proyecta la imagen sobre el film. Al estar truncado

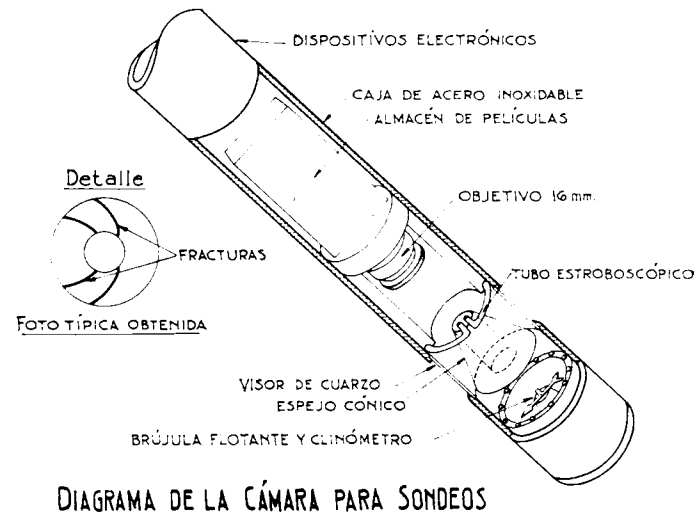


Fig. 10

posibilita la proyección sobre éste de una brújula flotante y de un clinómetro. En la figura puede apreciarse una foto con la lógica distorsión de la imagen que puede ser orientada o por cálculos de un computador, a partir de medidas tomadas directamente de la misma, o por un espejo cónico que, proyectándole sobre una pantalla cilíndrica —del mismo diámetro que el sondeo— de cristal, le restituye a su original posición espacial.

La información que la cámara proporciona es básica para el establecimiento de correlaciones estructurales y litológicas entre los diferentes sondeos. La Kennecot, en EE. UU., utilizó por vez primera esta cámara.

Esta localización interna será ayudada por la información que suministre la investigación de las aguas subterráneas con radioisótopos dada la intimidad entre los modelos de movimiento de agua y la geometría de las discontinuidades.

Con la información recogida puede hacerse un estudio comparativo del modelo de fractura que se presenta en los frentes de la Corta con el encontrado en el seno de la masa, facilitando el levantamiento de un modelo estructural del ámbito de la excavación esencial para el:

- 1) Diseño de taludes estables.
- 2) Disposición de las galerías de drenaje.
- 3) Situación de los dispositivos de medida de desplazamientos.

### Determinación de niveles de agua y de sus presiones

Dedujimos de la fórmula de Coulomb el negativo efecto sobre la estabilidad de un talud de la presión de agua. Con una altura hidrostática de 150 metros y una tensión normal de junta de unos 50 Kgs/cm<sup>2</sup> —junta a unos 200 m. de profundidad en una pizarra de una densidad real 2,5— obtendríamos una tensión efectiva de 35 Kgs./cm<sup>2</sup>, o sea, una desfavorable reducción de la normal en un 30 por 100, confirmación de lo enunciado.

Un escarpamiento estable y económico de los taludes lleva consigo un adecuado proyecto de drenaje —galerías y barrenos desde las mismas—, pero la definición de la posición correcta de estas galerías exige el conocimiento de:

1. Naturaleza de los modelos de movimientos de las aguas.
2. Distribución de la presión de agua en los taludes.
3. Geometría final de la excavación.

Información acerca de estos modelos de flujo, así como de la situación de los posibles niveles freáticos o depósitos de agua, será obtenida en breve con sustancias trazadoras radioactivas, según se ha descrito en otra comunicación. Información que nos proporcionará también criterios para la fijación de los sondeos en que deban disponerse los dispositivos medidores de presiones de agua.

La determinación de presiones de agua conducirá a:

- a) La correcta situación de estas galerías de drenaje.
- b) Vigilar la eficacia de éstas cuyo grado de confianza hay que conocer.
- c) Una precisa estimación de los taludes, o sea, de la geometría de la roza.

Para la medida de las presiones de agua, llamadas también tensiones neutras, no debe olvidarse que la distribución de las mismas a través de una sección vertical no varía proporcionalmente con la profundidad, pudiendo ser más altos los valores hallados en niveles más superficiales que en otros más profundos. De aquí que todo punto de un sondeo en el que se disponga un dispositivo de medida deba ser aislado estancamente del resto del sondeo; de lo contrario, el sondeo se convertiría en una labor de drenaje dando una presión lineal con la profundidad (fig. 11b) no representativa siempre de la distribución que realmente se da (fig. 11a). Por tanto, en cada sondeo deberán disponerse varias unidades de medición herméticamente dispuestas, no bastando con una sola unidad, como común y erróneamente suele suponerse.

Se ha medido con transductores la modificación transitoria producida en estos valores, casi estáticos, de la presión de agua por las ondas de presión

de las grandes voladuras, a tener en cuenta en el dimensionamiento de los dispositivos medidores. Los incrementos obtenidos fueron prácticamente nulos.

### Distribución de la presión de agua

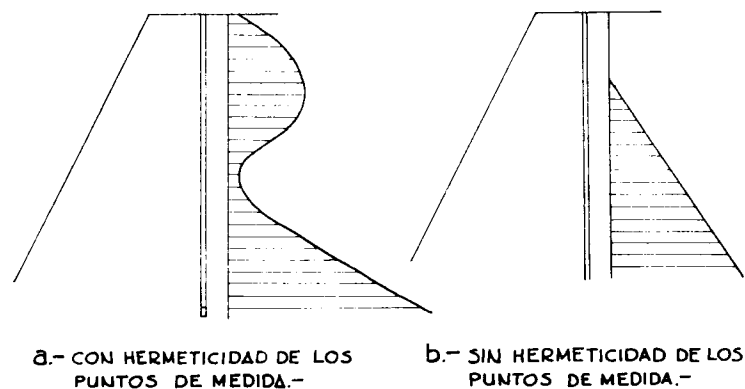


Fig. 11

Nos encontramos, finalmente, con la necesidad de elegir estos dispositivos de medida adecuados a nuestras necesidades de :

1. Resistencia, principalmente del diafragma, a las acciones de choques, temperaturas y agentes químicos.
2. Estabilidad para la supuesta larga vida de la Corta.
3. Exactitud y tiempos de respuesta cortos a los cambios de presión.

No existe en este momento dispositivo que satisfaga estas condiciones, por lo cual ha de desarrollarse una investigación del adecuado. Descartando los tipos hidráulicos —piezómetros— inaplicables en nuestro caso, aunque sí mucho en presas, son los dispositivos electrónicos, los llamados transductores de presión, en los que se polariza nuestra atención por satisfacer el último requisito citado aunque no los dos primeros, básicos para nuestros fines. La variedad existente —en el mercado se encuentra del orden de los diez tipos (transductores de «strain gauges», potenciómetro, capacidad, inducción, cuerda vibrante, etc.)— nos hace optimistas en cuanto a la articulación de ideas conducentes al tipo idóneo para las características de nuestro problema, independientemente de una utilitaria explotación de las patentes que pudieran surgir.

### *Medidas de desplazamientos*

La seguridad exigible en el Proyecto nos conduce a la necesidad de montar sistemas de vigilancia o de medida de los desplazamientos significativos en las zonas que, estructuralmente, puedan ser «dechos» de deslizamientos. Se requiere tener noticia con suficiente antelación para descargar un sector o tomar las medidas que se estimen precisas, dado que un deslizamiento no se improvisa jamás. Como los movimientos locales van a darse siempre —sobre todo en un ámbito de labores mineras—, es necesario disponer múltiples puntos de observación que delaten el carácter general de los movimientos registrados.

De un modo más extensivo estos desplazamientos responden a dos tipos generales :

- 1) *Desplazamiento de un conjunto rocoso en relación con el área circundante.*

La detención intermitente de los mismos puede ser hecha con teodolitos, nivelaciones de precisión, extensómetros, etc., pero modernamente se está desarrollando una instrumentación electro-óptica, servoautomatizada, de gran precisión en sus registros. Rayos laser de baja energía es una novedosa introducción americana en este campo.

Uno cualquiera de estos métodos —condicionada económicamente su elección por el grado de exactitud que se requiera— puede ser empleado para vigilar los desplazamientos relativos de las paredes de la excavación de la Corta.

2. *Desplazamientos relativos producidos en una superficie de probable deslizamiento.*

Pueden resultar perniciosos para la estabilidad de un sector de la roza. La disposición de mecanismos medidores en los puntos en que estas superficies son atravesadas por sondeos —tarea de difícil ejecución— puede revelar movimientos inapreciables en superficie.

De los ensayos de corte acometidos se deduce que movimientos del orden de 0,2" en pórfidos y de 1" en pizarra, son críticos; la resistencia al esfuerzo de corte se reduce peligrosamente. Se podría postular el diseño de los taludes en la zona de los desplazamientos residuales de la curva  $\sigma - \tau$  (esfuerzo-desplazamiento), pero ello carece de sentido por :

1. Equilibrio inestable de la masa rocosa en esa zona.
2. Obvias razones de tipo económico ( $\varphi$  decrece).

Cabe, pues, distinguir para nuestras necesidades dos tipos de dispositivos según la precisión requerida:

- a) 0,001'' a 0,250'' (para el pórfido).
- b) 0,250'' a 2,000'' (para la pizarra).

Puesto que, de modo idéntico al caso de las presiones de agua, no existe dispositivo que se ajuste a nuestras condiciones, se necesita diseñar unos que cumplan:

- 1) Detección y transmisión de deslizamientos en los intervalos anteriores.
- 2) Estabilidad y resistencia (factor no tan básico como en el caso del agua).
- 3) Movimientos registrables en tres direcciones mutuamente perpendiculares.
- 4) Anclaje, en el sector «activo» del sondeo, permanente, pero fácilmente rectificable por medios mecánicos.

Para desplazamientos muy pequeños hasta el empleo de «strain gauges», pero para desplazamientos sustanciales son completamente inadecuados, debiendo progresarse también para esta finalidad en el campo de los transductores, al menos por ahora. Esta investigación ha de topar, presumiblemente, con dificultosos escollos.

#### *Efectos de las voladuras*

Se han efectuado numerosas mediciones en orden a definir las aceleraciones impartidas a los elementos rocosos por las voladuras: el valor 0,1 g. de la componente horizontal de esta aceleración equivaldría a la reducción en unos 6° del valor crítico del ángulo de talud correspondiente según se deduce del análisis barodinámico de los macizos rocosos bajo el efecto de ondas de energía. Los valores de estas aceleraciones nos ayudarán al proyecto general de los taludes —especialmente en zonas sísmicas— y a la determinación, en los casos más frecuentes, del máximo para las voladuras a grande escala.

La determinación de estas componentes horizontales fue previamente hecha mediante geófonos —transductores de velocidad— con un registro simultáneo de las ondas de presión valiéndonos de un oscilógrafo. El experimento no fue útil porque, al no ser lineal la característica del geófono «voltaje (V)-velocidad  $\frac{dx}{dt}$ », se complicaba el cálculo de la aceleración o derivada segunda. Posteriormente se han vuelto a repetir estas determinaciones, esta vez con un acelerómetro —simples transductores piezo-eléctricos— que miden

directamente esta componente al poseer una característica «voltaje (V)-aceleración  $\frac{d^2x}{dt^2}$ », en la que V es una función lineal de la aceleración debido a las propiedades del cuarzo. Este sistema, de gran precisión, ha sido diseñado en la R. S. M. de Londres. Aunque el análisis de la información obtenida no ha finalizado, puede estimarse que las componentes observadas han sido inferiores a 0,1 g.

#### *Automatización de la información*

Las medidas de las presiones de agua, así como de los hipotéticos desplazamientos producidos y de las aceleraciones de las voladuras —procedentes todas ellas de dispositivos dispuestos repetidamente a lo largo de cada uno de los sondeos— constituyen una nutrida información, de la cual la mayor parte tendrá un carácter normal, debiendo ser sometido el resto a análisis. Del volumen de esta parte significativa dependerá la necesidad o no de automatizar la lectura, almacenaje y análisis de esta información. Aquélla, mediante un sistema «telemetric» de transmisión y recepción, poseyendo las lecturas de cada uno de los elementos de medida de cada sondeo su correspondiente codificación; el almacenaje, en un «Data Logger» o unidad de memoria, con el número de canales función de los dispositivos en trabajo; el análisis, por medio de un computador digital o analógico, o bien, híbrido.

Sin embargo, no parece probable que el futuro aconseje la automatización de la información de carácter significativo a someter a elaboración: un volumen grande de éste representaría una situación límite, por supuesto, nada deseable.

#### *Otros trabajos*

La necesidad de un más satisfactorio conocimiento del comportamiento de un talud en un fallo o colapso del mismo, justifica el planteamiento hecho de los ensayos siguientes, de finalidad —al menos en principio— más bien científica, pero redundable a la larga en un mejor control de aquel comportamiento:

- 1) Construcción de un modelo resistente de la Corta Atalaya, con materiales de respuestas resistentes coherentes con las de los materiales rocosos que en la Corta se dan, para someterlo a rotura controlada.
- 2) Fallo o colapso, también controlado, de un sector de un talud real como campo de aplicación de la instrumentación desarrollada y de las técnicas de análisis involucradas en la estabilidad de un talud.



En resumen, todo ello como contrastación de la filosofía potencialmente cosechable del programa de investigación en curso.

\* \* \*

El trabajo a realizar y la información a recoger son inmensos. R. T. E. nos escatima esfuerzos para dar solución a sus problemas, proveyendo los medios con no mezquina visión y con respuestas propias del actual planteamiento de lo técnico. Cuando, por ejemplo, los medios disponibles no son los apropiados para los problemas en cuestión —como hemos podido apreciar—, se ha recurrido a la investigación aplicada, acaso la nota más característica de los métodos de trabajo de la técnica en esta segunda mitad del siglo. El estudio económico expuesto en la primera parte de este trabajo justifica con amplitud el aparente derroche de esfuerzos de R. T. E., firme —por otra parte— en su deseo de ofrecer a la Minería las indudables provechosas conclusiones del programa trazado.

#### BIBLIOGRAFÍA

- FAIRHURST, Charles: *The Role of Rock Mechanics* «Mining Engineering», February 1966.
- JENNINGS, J. E. and BLACK, R. A. L.: *Factors Affecting the Angle of Slope in Open-Cast Mines*. «Society of Mining Engineers of AIME», Febr. 1963.
- RUSHTON, M. W. and JENNINGS, J. E.: *Slope Stability in the Nchanga Open-Pit*.
- WAMSLEY, W. H. *The Open Pit Mining Industry Today*. «Mining Congress Journal», Febr. 65.
- Open Pit Planning* «Mining Magazine», Nov. 1966.
- LABROUSE, M.: *Exploitation en Carrière des Filons Subverticaux*. Congrès Minier de Prague. Mai. 1963.
- COVETES, D. F. and BROWN, A.: *Stability of Rock Slope at Mines*. «The Can. Mining and Metallurgical», 1961.
- EMERY, C. L.: *Rock Mechanics in Open-Pit Mining*. «Annual General Meeting», Quebec, April 1966.
- MORGERNSTERN, N. R. and PRICE, V. E.: *The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces* «The Institution of Civil Engineers», 1965.
- GOODMAN, R. and TAYLOR, R.: *Methods of Analysis for Rock and Abutments*. 8th. Symposium on Rock Mechanics, Septemb. 1966.
- LONDE, Pierre: *Analisis Tridimensional de la Estabilidad de una Ribera Rocosa*. «Rev. Annales des Ponts et Chaussées», 1965, 1.
- LIAM FINN, W. D.: *Static and Seismic Analysis of Slopes*. «Rock Mechanics and Engineering Geology», vol. IV/3 (1966).
- MUELLER, L.: *Application of Mechanics in the Design of Rock Slopes*. Proceedings of the International Conference, Santa Mónica/California 1963. «American Elsevier Publishing».
- MUELLER, L. and JOHN, K. W.: *Recent Development of Stability Studies of Steep Rock Slope in Europe*. Transactions, 1963.
- MAYER, A.: *Recent Work in Rock Mechanics*. «The Institution of Civil Engineers», 1964 (?).
- BLACK, R. A. L.: *Technical and Geological Factors in Slope Stability*. «Mine and Quarry Engineering», Febr. 1964.
- TERZAGHI, K.: *Stability of Steep Slopes on Hard Unweathered Rock*. «The Institution of Civil Engineering», 1963 (?).

- TER-STEPANIAN, G.: *Natural and Excavated Slopes*. 1st. International Rock Mechanics Congress, Lisbon 1966.
- RAMBAUD P. F.: *Notas Geológico-Estructurales de la Zona Norte de Riotinto (Huelva)*. «Estudios Geológicos», vol. XIX, diciembre 1963.
- DENKHAUS, H. G.: *Residual Stresses in Rock Masses* 1st. International Rock Mechanics Congress, Lisbon, Sept. 1966.
- KRSMANOVIC, D. and LANBOF, Z.: *Large Scale Laboratory Tests of the Shear Strength of Rocky Material*. «Rock Mechanics and Engineering Geology», Supplementum I.
- BRAY, J. W.: *A Study of Jointed and Fractured Rock*. No publicado.
- BLACK, R. A. L. and PENTZ, D. L.: *Report on the Progress of the Rock Mechanics Programme for Atalaya Open-Pit*. «London-Royal School of Mines», 1967.
- OJEDA, F.: *Groundwater Research by Radioisotopes*. «Mining Research Report», Imperial College, Feb. 1967.
- COOK, M.; CLAY, R.; KEYES, R. and UDY, L.: *Behavior of Rock during Blasting Society of Mining Engineers*, Dic. 1966.
- READ, D.: *Lithological Description of the Atalaya Open-Pit*. «Mining Research Report», Imperial College, 1965.

3 junio 1967.

CARLOS MARTI NARBONA  
Dr. Ingeniero de Minas

## ENSAYO DE MECANIZACION EN POTASA EN LA CUENCA DEL LLOBREGAT

### RESUMEN

Dentro de la cuenca potásica catalana, se diferencia por sus características generales de formación y yacimiento una zona extendida a ambos márgenes del río Llobregat y que envuelve los pueblos de Sallent y Balsareny, de unos 55 km<sup>2</sup> de superficie con un contenido «in situ» de 1,3 Tm. K<sub>2</sub>O por m<sup>2</sup>. Zona, por consiguiente, de un extraordinario interés, pero de unas grandes dificultades de explotación. Estas dificultades se derivan, en primer lugar, de su extraordinaria irregularidad. Si bien, en principio, se trata de un yacimiento casi horizontal en líneas generales, localmente presenta toda clase de accidentes geológicos, con frecuentísimos cambios de pendiente que forman los pequeños sinclinales, anticlinales y cúpulas de que está constituido. También son frecuentes las esterilizaciones más o menos extensas. En segundo lugar, las dos capas de silvinita de que consta están separadas por unos dos metros de sal gema que obliga a un arranque selectivo.

Actualmente se está ensayando una mecanización de labores, a base de un transporte continuo por bandas de Pvc y preparación y arranque con minadores continuos y camiones lanzadera. Se trata de arrancar por fajas. La sal con el minador, dejándola en el hueco de la anterior mediante el camión. A continuación arrancar con explosivo las capas superior e inferior de silvinita llevándolas al transportador con un scraper.

Se ha previsto un trazado de galerías dobles para asegurar un circuito de servicio y transporte de la maquinaria pesada rápido y eficaz.

### UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL CRIADERO (Plano núm. 1)

Dentro de la cuenca potásica catalana, tan extensa y variada, a uno y otro lado del río Llobregat, existe un núcleo potásico perfectamente individualizado por sus características generales y bastante bien conocido, tanto por la abundancia de prospecciones geológicas, geofísicas y de sondeos realizados, como por existir en ella dos explotaciones en actividad, la más antigua en el término municipal de Sallent, perteneciente a Potasas Ibéricas, S. A., y otra más moderna en el de Balsareny, perteneciente a Unión Española de Explosivos.

Esta zona está limitada al N. por la falla del Tordell, sensiblemente una

recta que va desde el S. del pueblo de Suria al N. del de Balsareny. Al S. por la falla de Guix, que va desde el N. del pueblo de Callús a pasar unos 1.500 metros al S. de Sallent. Al O. viene limitada más o menos por la equidistancia entre el Llobregat y el Cardener. Al E. por el final del criadero, no bien delimitado pero que se supone a unos 5 kilómetros del río.

Se trata, por consiguiente, de un rectángulo de unos 55 kilómetros cuadrados de superficie, de los que hay explotados o en vías de ello 8 kilómetros cuadrados.

La formación salina presenta un sinclinal cuyo eje coincide sensiblemente con el del rectángulo descrito y de dirección O.-E., hasta llegar al pozo de U. E. E. Luego se levanta hacia el NE.

La profundidad de la formación silvinitica en el eje del sinclinal es de unos 500 metros bajo la superficie del terreno, mientras que en el S. del rectángulo, en las proximidades de la falla del Guix se corta a algo menos de 300 metros. Es decir, que la rama S. del anticlinal sube con una pendiente poco superior al 6 por 100. De los estudios geofísicos y sondeos existentes se deduce una pendiente similar para la rama N.

SERIE ESTRATIGRÁFICA (fig. 1)

El manto de cobertura está formado principalmente por margas alternando con pequeños bancos de calizas grises. Predominan las margas en bancos poco potentes, lo que da una garantía de cierta importancia en cuanto a la poca probabilidad de su rotura violenta. Más bien cabe esperar un hundimiento flexible que siga protegiendo el criadero tras la explotación. Aparecen luego los primeros vestigios de evaporitas impregnando margas o alternando con ellas en capas finísimas. Estas van aumentando progresivamente de espesor.

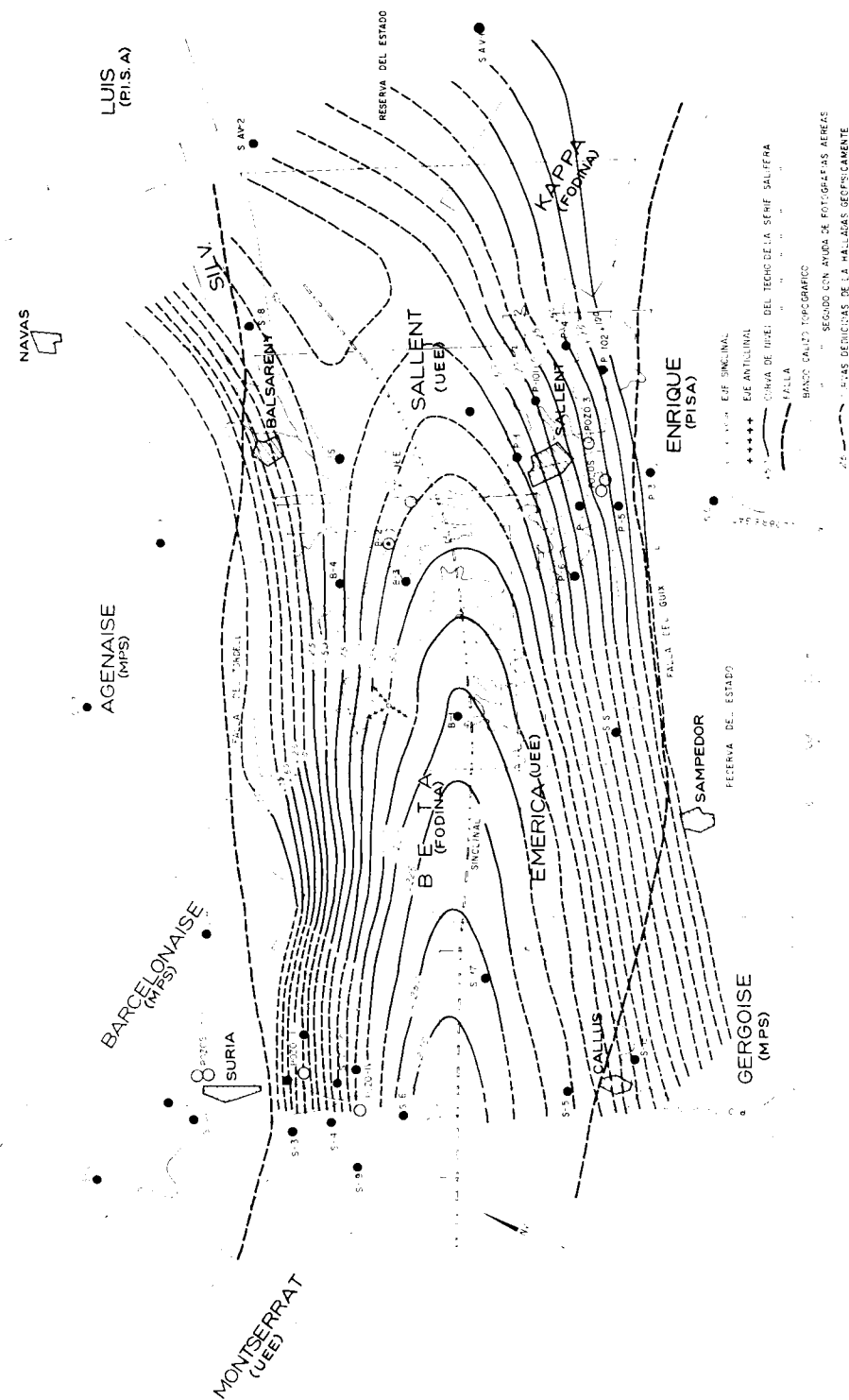
El techo de la carnalita lo constituye una capa de sal, estratificada en lechos de pocos centímetros de espesor, separados por deposiciones de margas pulverulentas de pocos milímetros de espesor que, al quitar continuidad a la sal, la hace quebradiza y pésima como techo de una posible explotación.

Debajo aparece ya la carnalita, en espesor muy variable y a la que podemos asignar una potencia media de 3 metros con riqueza de 14 por 100  $K_2O$ .

Se presenta normalmente en un banco único homogéneo que la hace suficientemente resistente como techo en determinados vanos, pese a sus malas propiedades mecánicas intrínsecas. La gran sequedad del ambiente del interior de las explotaciones ayuda de un modo muy importante en este sentido, ya que absorbe muy intensamente la humedad del aire y se torna deleznable.

Bajo la carnalita aparece la primera capa de silvinita o capa B. Su po-

PLANO I



potencia muy variable puede estimarse en una media de 80 cm. Su riqueza, de 32-33 por 100  $K_2O$ .

Se presenta en lisos bastante potentes, y como es muy resistente y elástica, constituye un buen techo, siempre que se mantenga la continuidad de estratos.

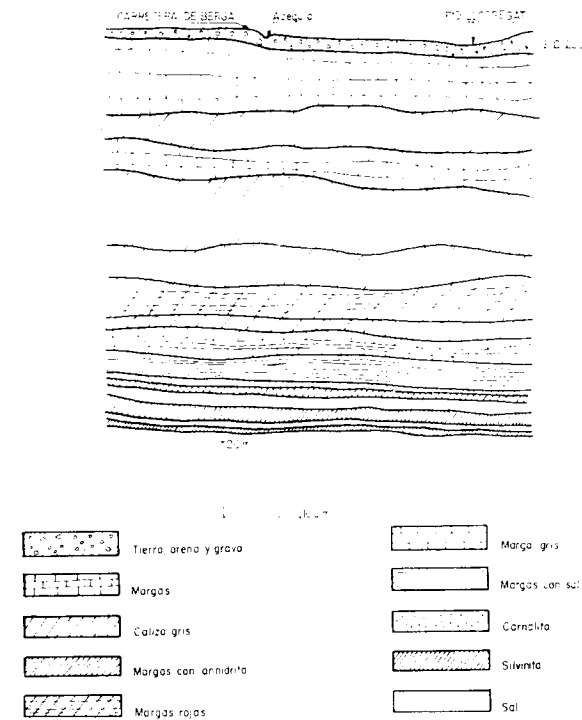


Fig. 1.

Viene a continuación una capa de sal, estratificada en lechos delgados, con separación de margas, muy mala como techo, de potencia también muy variable y que podemos cifrar en una media de 2 metros.

A continuación se presenta la segunda capa de silvinita o capa A. También variable en potencia, puede ésta fijarse en 1,60 metros de media. Su riqueza es del orden del 17 por 100  $K_2O$ .

Está constituida por una serie grande de lisos de espesor variable entre 2 y 20 cm., alternando silvina casi pura y halita. La separación de lisos es por intercalación de finisimos estratos de marga pulverulenta, que a veces falta y da origen a que se suelden los estratos.

Aunque sus características mecánicas son sensiblemente superiores a la de la anterior capa de sal intermedia, tanto por su menor proporción de margas, cuanto por el mayor espesor de estratos y por la mayor resistencia y

elasticidad de la silvinita y silvina sobre la halita, no llega a constituir un techo digno de confianza en vanos superiores a 2 metros.

A continuación viene otra capa de sal de unos 60 cm. de potencia media.

Por último cierra la serie silvinitica otra capa de 60 cm. de potencia media, la capa  $A_1$ , con ley 32-34 por 100  $K_2O$ .

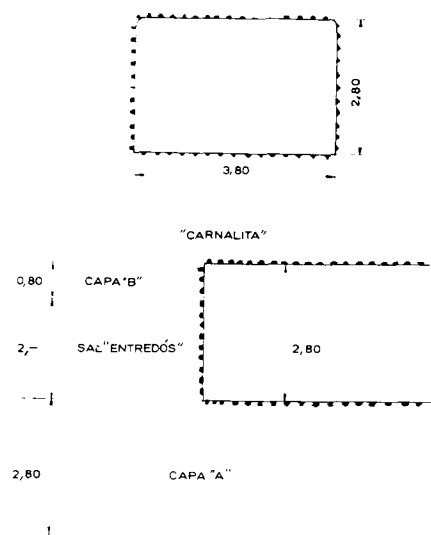


Fig. 2.

La estratificación de estas dos últimas capas es muy parecida a la de la capa A.

Las tres últimas capas, la A, los 60 cm. de sal y la  $A_1$ , a efectos mineros se considera una capa única, llamada capa A, con una potencia media de 2,80 metros y una ley del orden del 17 por 100  $K_2O$ .

Finalmente aparecen unos 6-10 metros de sal de muro, en lisos de unos 10 cm. con separación de margas y a continuación la sal vieja, cristalina, en masa compacta de un espesor enorme.

La sal vieja tiene unas propiedades mecánicas muy estimables. Permite amplias labores con buen techo.

#### IRREGULARIDADES

La característica dominante de este criadero es su irregularidad. Cambia absolutamente de aspecto sin apenas transición o absolutamente sin ella. Siempre de la forma más inesperada y súbita.

Todos los accidentes tienen cabida. Desde la esterilización completa o des-



aparición o adelgazamiento de todas o alguna de las capas de la serie, hasta las acumulaciones de estas capas en determinadas zonas.

Desde los más violentos plegamientos, con pliegues verticales, acostados, invertidos, etc., hasta suaves ondulaciones o calma absoluta.

Normalmente las esterilizaciones o empobrecimientos coinciden con zonas de plegamientos violentos.

Dada la gran plasticidad de estas evaporitas, especialmente de la silvinita, es normal que ante estos apretones fluya la silvinita hacia las zonas próximas donde se deposita engrosando en ellas el criadero.

Otras veces se pierde la pista a la silvinita desaparecida de las zonas estériles, apareciendo con frecuencia manchas de «sal roja» en el lugar de la silvinita. Esta sal es de aspecto muy similar a la propia silvinita, lo que hace pensar que proviene directamente de ella por emigración de moléculas de  $\text{ClK}$  puro, que no arrastraron ni siquiera el óxido de hierro que las impregnaba y al que debe su color la silvinita.

En fin, hay casos en que un liso de silvinita se ve transformarse paulatina, suavemente en sal, sin que se refleje el más leve trastorno de tipo geológico y dentro de una zona perfectamente tranquila y horizontal.

Por supuesto, en estos fenómenos radica fundamentalmente la dificultad de las labores mineras.

#### MINERÍA EXISTENTE (Plano núm. 2)

Las dos empresas explotadoras actuales cuyas producciones anuales están próximas a las 40.000 Tm.  $\text{K}_2\text{O}$ , coinciden en su sistema de arranque. Se opera por fajas de 6 metros de anchura por 120 metros de longitud, 60 metros a cada lado de la sobreguía que recorre el tajo. Una vez iniciado el primer hueco de 6 metros de ancho por la altura total de capa B + Sal intermedia + capa A, se inicia la apertura de la siguiente faja o calle de 6 metros por la sal intermedia, arrojándola de lado al hueco de la anterior, en su mayor parte por la fuerza del explosivo empleado para su arranque y el resto a mano. La capa B se deja colgada y soportada por estemples de madera.

A continuación se vuelca la capa B que cae sobre la A. Un scraper la saca a la sobreguía.

Por último, se vuelca la capa A, que es sacada de la misma forma.

Todo el barrenado se hace con perforadoras eléctricas de mano, rotativa.

En el caso de Sallent, en la sobreguía hay un transportador blindado que retira el mineral, que sigue por bandas de goma hasta el pozo.

En el caso de Balsareny, en la sobreguía hay unos coladeros que bajan el mineral a la planta inferior de transporte, donde se carga en vagones.



El sistema exige dejar en cada calle 3 ó 4 pilares de 2 x 2 metros, para soporte del techo de carnalita.

De cada uno de estos tajos se sacan de media diaria entre 140 y 200 Tm. de silvinita, dependiendo de la menor o mayor regularidad con que se presente en ellos el criadero.

El rendimiento total de interior del sistema es del orden de las 4 Tm. por jornal y la repercusión de la mano de obra en el precio de coste del mineral extraído es del orden del 50 por 100.

Esta minería no tiene ningún porvenir. Por una parte, para pensar en bajar costes habría de acudirse a aumentos importantes de la producción, y al estar ésta basada fundamentalmente en la mano de obra, habría de contratarse una gran cantidad de personal que no hay disponible. Las dificultades para encontrar personal en toda la cuenca potásica catalana son grandes y en aumento. Cada vez resulta menos atractivo este trabajo, fundado en el esfuerzo físico y, naturalmente, el personal no acude.

Por otra parte, en cierta medida, por la escasez de personal y en cierta por la tónica general del país, la mano de obra se encarece constantemente. No es descabellado prever para los próximos años una tasa de aumento del precio de la mano de obra de un 10 por 100 anual.

#### TENDENCIA EN POTASA

El mercado internacional de la potasa en los próximos años, por lo menos hasta 1972-1974, tiende al endurecimiento. La irrupción de la producción canadiense ha supuesto un desequilibrio importante en la producción-consumo, habiendo llegado ya a sobrepasar la primera al segundo. En los próximos años aún se acentuará más este desequilibrio, debido a los astronómicos aumentos que Canadá tiene previstos. También en este período saldrá al mercado la producción del nuevo campo ruso de Soligorsk y la del Congo. Todo lo cual justifica el sombrío panorama apuntado y el que ya hayan bajado sensiblemente los precios de venta en el mercado internacional.

En cuanto a producción, no se conciben unidades modernas de menos de 300.000-400.000 Tm.  $K_2O$  anuales. De este orden son las más pequeñas montadas en Canadá, donde la I. M. C. proyecta llegar ella sola al 1.880.000 Tm.  $K_2O$  anuales. De 500.000 Tm. es la planta que están preparando los franceses de M. P. A. en el Congo. Al 1.000.000 Tm. parece pueden llegar los rusos en su nuevo campo.

Estas grandes unidades consiguen unos precios de coste muy bajos, tanto por la dilución de gastos generales comerciales, etc., como, aun en mayor medida, por el abaratamiento del coste en las plantas de beneficio.

#### POSIBILIDADES Y PROBLEMÁTICA DE LA CUENCA DEL LLOBREGAT

De los datos estadísticos acumulados de las zonas ya explotadas, se deduce que la riqueza media del criadero es de 1,3 Tm.  $K_2O$  por cada metro cuadrado de superficie.

A los 55 kilómetros cuadrados descritos deben restársele:

8 kilómetros cuadrados ya explotados.

3 kilómetros cuadrados de un macizo de 500 metros de anchura para protección del río.

1 kilómetro cuadrado para proteger el pueblo de Balsareny y algún otro punto notable de la superficie.

12 kilómetros cuadrados en total.

Quedan por consiguiente 43 kilómetros cuadrados.

Las estadísticas que poseemos indican que no llegan al 10 por 100 las zonas estériles. Aumentemos esta zona inexplorable hasta un 25 por 100, en precaución de que mediante una mecanización no podrán explotarse zonas excesivamente trastornadas.

Admitamos que del 75 por 100 restante sólo se recuperara un 70 por 100 como secuela del método adoptado.

Cifremos por último en el 90 por 100 la recuperación que se obtenga en la planta de beneficio.

Las reservas de la zona quedan establecidas en  $43 \times 0,75 \times 0,7 \times 0,9 \times 1,3 \times 10^6 = 26,4 \times 10^6$  Tm.  $K_2O$  vendibles, lo que supone con seguridad un cálculo pesimista.

Es decir, sesenta y seis años de explotación al ritmo de 400.000 Tm.  $K_2O$ /año.

No cabe duda de que hay una gran cantidad de potasa, suficientemente interesante como para dedicarle la máxima atención.

Ahora bien, ¿qué se puede hacer con ella?

Seguirla explotando por el procedimiento tradicional parece evidente que no es posible. No parece posible absorber económicamente la presión salarial actuante.

Aparte de que el problema no es el de mantener los costes actuales, sino abaratarlos en la fuerte medida necesaria para poder competir en el extranjero. No puede olvidarse que la potasa en España es una industria fundamentalmente de exportación.

La única forma de bajar algo los costes sería aumentar extraordinariamente la producción. Y la oferta de mano de obra no es propicia para ello.

Se presenta un claro dilema: Mecanizar intensamente o abandonar en muy pocos años. Abandonar, por supuesto, debe ser lo último. Es demasiado importante el volumen de potasa existente como para no luchar por él.

## ENSAYOS DE MECANIZACIÓN REALIZADOS

Así lo consideró hace muchos años la Unión Española de Explosivos, ya que si bien el problema ahora es acuciante, desde hace muchos años se presumía.

De hecho, los ensayos de mecanización se iniciaron en 1957, con un tajo experimental con rozadora de brazo en *long-wall* y entibación con mampostas metálicas. Se trataba de explotar solamente la capa A, abandonando por el momento la B y trabajando bajo un techo de sal intermedia que era preciso entibar profusamente.

Caso de haberse alcanzado un relativo éxito, se hubiese pasado a explotar con rozadoras integrales. Incluso se hubiera tratado de arrancar también la capa B en un escalón superior.

Pero pronto se vio que el procedimiento no era posible. El equipo no era capaz de adaptarse con suficiente agilidad a las irregularidades del criadero. Además, en los casos de esterilizaciones, se estaba indefenso. Había que trasplantar el pesado equipo a un nuevo tajo que no se sabía lo que iba a durar.

En 1964 se hizo otro intento de explotación selectiva de capa A, por el método de cámaras y pilares. Se trataba de averiguar con qué vanos se podía trabajar manteniendo de techo la sal intermedia sin entibación, soportada por los primeros lisos de capa A, que se abandonarían, y entre los que se encuentra el de mayor espesor y resistencia.

En definitiva, el arranque se haría con minadores o con equipos de rozadora, barrenado y carga, o bien de cuele, barrenado y carga. Se pensó en 4 metros como anchura mínima de los huecos para poder manejar este equipo.

Con 2 metros de vano, el techo se aguantaba bien. Con 3 metros ya no. Aquí se paró por consiguiente el ensayo.

Finalmente, en 1965 pensamos en un método original y que requería toda una nueva y moderna disposición de la mina, para poder ensayarlo. Se decidió hacer el ensayo que requería preparar adecuadamente una zona virgen del criadero, cuyas preparaciones tenemos en este momento en un avanzado estado.

Las líneas generales son como siguen:

## PLAN GENERAL DE LA EXPLOTACIÓN

Naturalmente, el nuevo plan es el resultado de un análisis exhaustivo de nuestro actual sistema de explotación intrínsecamente considerado, y ha sido retocado a la vista de las enseñanzas acumuladas en los anteriores ensayos realizados y en nuestras visitas a gran parte de las cuencas potásicas de Europa y a todas las de América.

Desde el principio pensamos que la carnalita podía ser el techo mejor para estas labores y que incluso debía esperarse de ella un comportamiento mejor que el de la sal vieja, a la que hay que sanear cada dos o tres años, según las zonas. Este pensamiento tiene su base en la observación de los techos (en carnalita), de los tajos de arranque, en los que si bien se producen hundimientos, éstos sólo los vemos presentarse en muy grandes vanos o como consecuencia de un mal barrenado que los ha dañado. Ninguno de ambos factores puede presentarse en nuestras nuevas galerías, ya que su vano no alcanzará los 4 metros y serán abiertas con minador con ausencia total de explosivo. A esto último debe concedérsele la mayor importancia, ya que aun barrenando con toda perfección, es evidente que la onda explosiva de la pega produce una percusión y vibración del techo que queda resentido en no pequeña escala.

Cabía también la posibilidad de dejar como techo la capa B, muy dura y elástica, y que se ha revelado como magnífico techo en las galerías de la planta superior, donde la venimos dejando como tal hace unos tres años. Tenemos, pues, dos alternativas para elegir según las circunstancias.

No quisimos contentarnos con este nuestro razonamiento e hicimos una encuesta entre todos los ingenieros y facultativos, así como entre varios vigilantes y obreros de nuestra mayor estima. Ella y su resultado ha sido:

1. ¿Es posible pensar en unas galerías generales, de duración ilimitada, de 4 metros de anchura y con techo en capa B o carnalita?

Respuesta: 100 por 100, sí.

2. ¿Qué techo será mejor, capa B o carnalita?

Respuesta: 31,2 por 100, capa B; 68,8 por 100 carnalita.

3. ¿Habrá que fortificar grandemente estas galerías? ¿Regular? ¿Más bien poco? y en cualquier caso ¿de forma sistemática o circunstancial?

Respuesta: 100 por 100, poca entibación y de forma circunstancial, en zonas especialmente malas.

Esto acabó de tranquilizar nuestro ánimo.

El eliminar la planta de transporte a nivel nos obliga a realizar lo que era nuestro deseo ya de antemano: sustituir el transporte por ferrocarril por el de cintas, más caro de primera instalación, pero mucho más barato de explotación por no requerir prácticamente mano de obra. Y lo que es quizá más importante: mucho más seguro, en el doble sentido de la seguridad personal y de garantizar una inmediata salida del tajo de todo lo arrancado, sin pérdidas de tiempo que siempre repercuten muy sustancialmente sobre el propio arranque.

## TRAZADO GENERAL

De este estado de ideas nació nuestro proyecto general de explotación, sintetizado en el plano III.

Se trata en definitiva de salir próximo al pozo cuyo enganche está en la sal vieja con dos planos inclinados a situarnos en capa. A partir de este momento seguiremos siempre en ella con galerías dobles de  $3 \times 3,80$  metros, separadas 10 metros y comunicadas entre sí cada 70 metros aproximadamente. Una de las galerías es exclusivamente para la cinta transportadora que sacará el mineral. La otra para transporte de materiales y personal. Con esta disposición esperamos conseguir un desahogo máximo en ambos servicios.

El campo de explotación estará limitado al Oeste y Sur por un colector general de aire, que retornará al pozo el aire sucio que ha ventilado los tajos. De este modo conseguiremos un circuito de ventilación de gran orificio equivalente, que asegurará una ventilación energética, indispensable para el buen funcionamiento de hombres y máquinas.

Creemos suficientemente ilustrativa la leyenda del plano como para permitirnos no insistir más en esta cuestión.

## INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La potencia instalada en los nuevos tajos será de 1.570 CV., para lo que se han previsto:

2 transformadores de 500 KVA c. u.

2 transformadores de 315 KVA c. u.

todos semifijos, 5.000 V. - 500 V., con dieléctrico de aire, enfriamiento al aire, en ejecución antideflagrante. Llevarán todos ellos protección a la entrada y salida, con interruptores automáticos en ambas y seleccionador en la entrada.

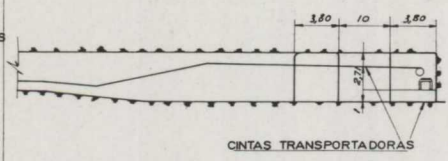
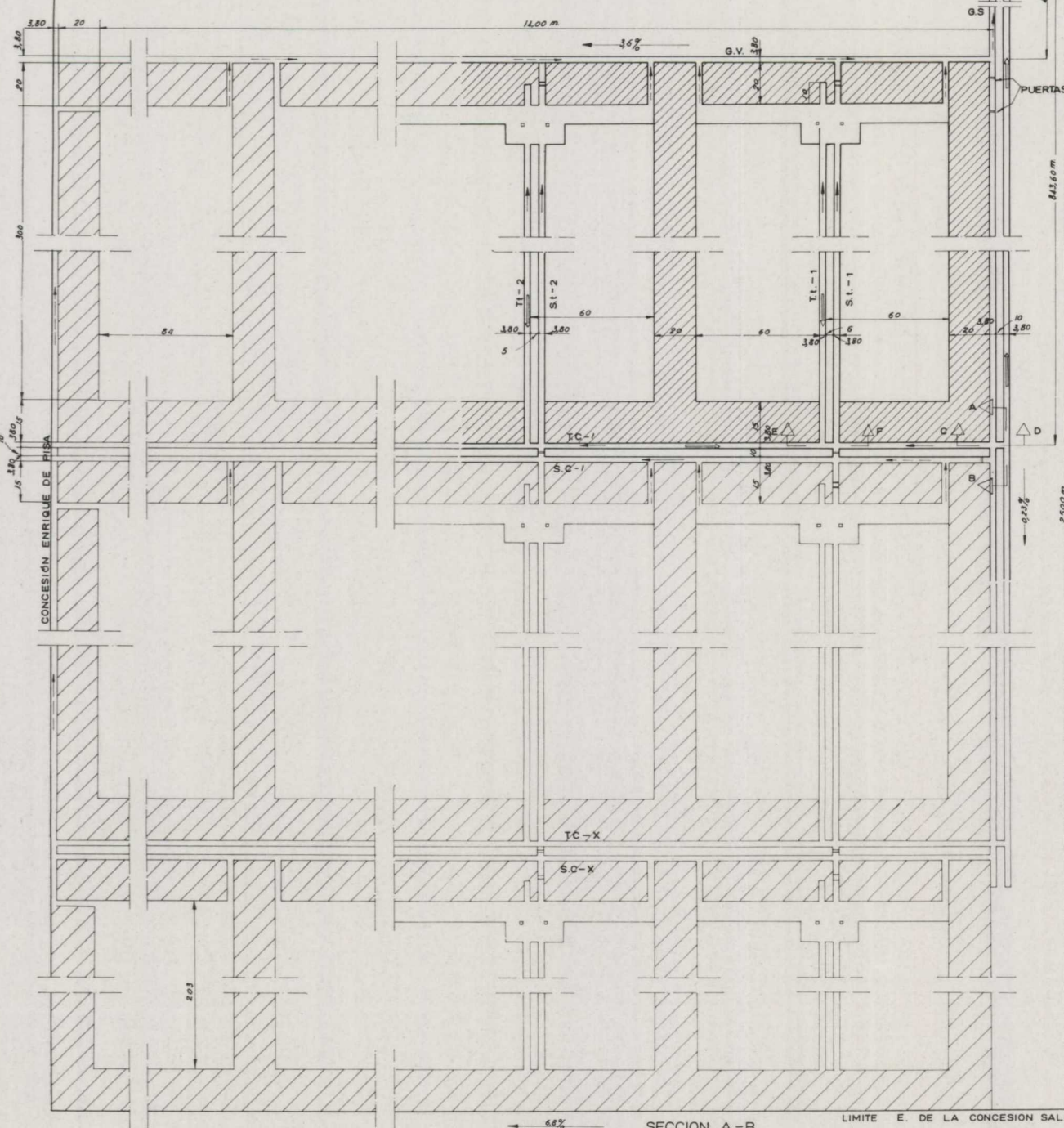
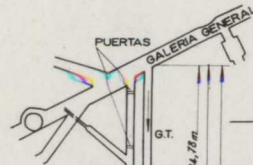
La aparamenta en media y baja tensión será asimismo en ejecución antideflagrante, con objeto, ya que no es preceptivo su uso para nuestra mina, de conseguir la máxima robustez, y por ello máxima protección contra electrocuciones y garantía de la continuidad de los trabajos. Por otra parte, quedamos a cubierto del remoto riesgo de aparición de gas, circunstancia que no debe descartarse absolutamente en una mina potásica.

Cada motor irá protegido por un cofre de tajo tipo contactor, con telamando y todas las protecciones reglamentarias.

Los cables eléctricos son todos con aislamiento sólido, a base de goma butilo uno de los de bajada por el pozo y mil metros de los de distribución en media tensión, armados y apantallados, y de polietileno el resto. Arma-



CONCESION "EMERICA" DE U.E.E.  
CONCESION "SALIENT" DE U.E.E.



SECCION C-D

EXPLICACION

- Labores a realizar antes de empezar a explotar (2880 m. de galeria + 415m de preparacion de tajo antes de empezar el arranque)
- Id. simultaneamente con la explotacion
- Mineral
- Aire fresco
- Aire sucio
- ↗ Pendiente ascendente
- G.T. Galeria de transporte general
- G.S. " " servicio
- G.V. " " ventilacion
- G.A. " " apertura de tajo
- G.T.T. " " transporte del

Superficie total = 2.859.829 m<sup>2</sup>  
 » explotable = 2.056.285 m<sup>2</sup>  
 Galerias generales = 22.126 m.  
 » de tajo = 39.775 m.  
 Total galerias = 61.901 m.  
 Aprovechamiento del Criadero = 71,8 %  
 (1 m<sup>2</sup> explotable 6 Tm. de silvinita)  
 1,75 m. galerias generales/1.000 Tm. silvinita preparadas  
 3,20 m. » de tajo/1.000 Tm. » »  
 4,95 m. » totales/1.000 Tm. » »

*Número de tajos en todo el campo preparado.*

Normales = 45 de 36.780 m<sup>2</sup> explotables cada uno  
 Marginales del Sur = 5 de 29.100 m<sup>2</sup> explotables cada uno  
 » del Este = 9 de 26.113 m<sup>2</sup> » » »  
 » del S. E. = 1 de 20.661 m<sup>2</sup> » » »  
 » del Este = 9 de 26.113 m<sup>2</sup> » » »

dos los de media tensión, semiflexibles hasta la entrada en los cofres de tajo y flexibles para la alimentación de los aparatos móviles.

La tensión irá puesta a tierra, en la boca del pozo, mediante un cable especial unipolar de 50 mm<sup>2</sup> de sección, autoportante, tendido en la vertical del pozo. No puede hacerse una toma eficaz de tierra en el interior dado el carácter aislante de los cloruros alcalinos.

La baja tensión va con neutro aislado y celdas de control de aislamiento, que entendemos es el sistema más seguro tanto desde el punto de vista personal como desde el de la continuidad de marcha.

#### TRANSPORTE

Para mineral, todo él será homogéneo, con cintas de goma de 1.075 milímetros de anchura, en artesa, con una capacidad en punta de 800 Tm/h., y media de 250 Tm/h. La disposición de estas cintas corresponde a la flecha (=>) de doble trazo del plano III.

La en apariencia desproporcionada capacidad de las cintas, viene condicionada por la necesidad de darles 1 metro de anchura. En efecto, al hacer con explosivo el arranque de la capa A, debemos prever la existencia esporádica normal de piedras muy grandes, las cuales no deben suponer ninguna interrupción de la producción.

Por otra parte, estas cintas van a ir alimentadas intermitentemente por descarga de camiones lanzadera. Naturalmente, cuanto mayor sea la capacidad de las cintas, más de prisa se podrán descargar sobre ella los camiones y mayor será el rendimiento de ellos, del arranque y de la producción, en suma. Esto tiene una importancia definitiva.

La nueva galería general de transporte, galería G. T., irá equipada con unidades de 600 metros, en serie, así como las galerías de transporte de cuartel, galerías T. c. (1, 2, etc.). Los tajos llevarán cada uno una unidad de 270 metros.

Finalmente un pequeño transportador de 40 metros, instalado sobre una plataforma de acero para permitir la libre circulación de los trenes de la mina vieja bajo él, recogerá todo el mineral para soltarlo sobre los silos de sal o mineral, según el caso.

En cada tajo se ha previsto un pequeño transportador blindado de raquetas, tipo T. 500, sobre el que vaciará la cuchara scraper y el camión lanzadera cuando actúe en los tajos.

Este transportador tendrá una longitud del orden de 30 metros, suficiente para dosificar a la cinta.

Se ha considerado fundamental la homogeneidad, por lo que, salvo la unidad motriz del transportador corto que es del tipo MII 3.000, con motor

de 15 CV, y de vertido directo, el resto del material es idéntico para todos los transportadores, incluso el corto, y está integrado por los siguientes elementos:

Cabezas motrices UN. 1.733-75.0.20, con motores en jaula de ardilla anti-deflagrantes, de 75 CV, acoplamientos elásticos hidráulicos y reductores de engranajes.

Estaciones tensoras de retorno UN. 4199.

Frenos mecánicos UN. 3621, con accionamiento electrohidráulico anti-deflagrante.

Puntos de carga intermedia con rodillos de choque, protegidos con goma. Rodillos Varitrough de inclinación variable 20-30°, colgados, STF. 4243. Largueros BC. 25001.

Patas telescópicas de altura graduable BC. 33634.

Enclavamientos eléctricos con interruptor para parar un transportador y todos los que le anteceden, cuando su velocidad disminuye por debajo del 75 por 100 de la de régimen.

Unidades de compensación de lazo con 7 metros de reserva SR. 666.

Dispositivo para evitar que se acumule en una misma zona de un transportador el mineral que provenga de otros dos que lo alimentan.

Banda transportadora con revestimiento de PVC y textil de nylon recubierto de algodón, incombustible, tipo DCN. 65.

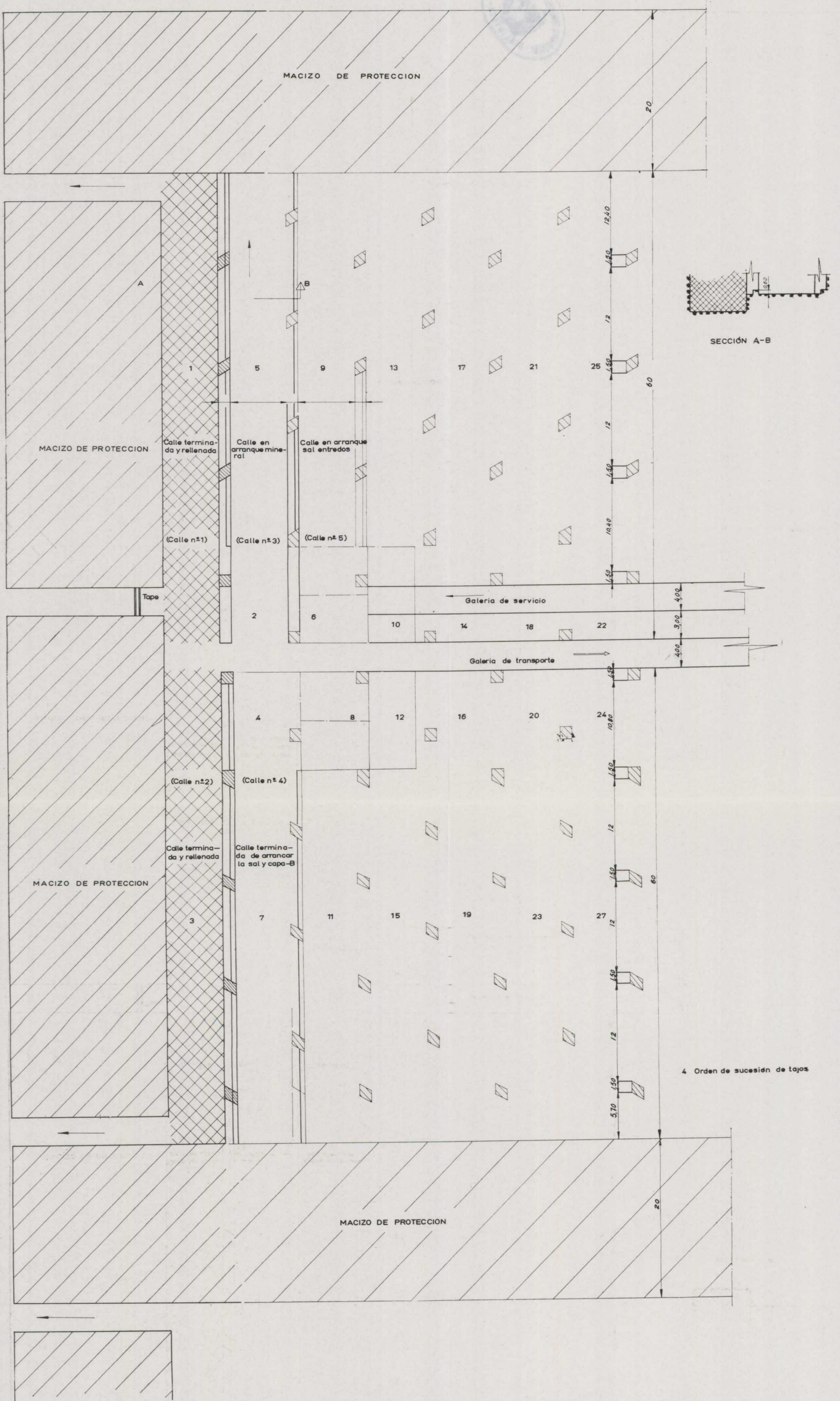
A base de la inmejorable calidad de la maquinaria apuntada, confiamos en que esta instalación funcione prácticamente sin personal. Entre 1 y 3 jornales diarios bastarán para mantenerla limpia y en buenas condiciones de marcha.

Vehículos automotores, de batería eléctrica, uno de ellos Fenwick en ejecución antideflagrante, serán suficientes para el transporte normal de recambios, explosivo, etc. Aún no se ha decidido sobre la conveniencia de ampliar el parque con otros tipos, aunque seguramente será necesario recurrir a un vehículo Diesel, de gran autonomía y con posibilidad de acoplar diversos dispositivos que le dan la máxima agilidad y eficacia, para transporte combinado de personal y materiales pesados.

Como queda dicho, cada transporte, mineral y general, tiene su circuito propio, sin interferencia alguna. Es decir, una de las dos galerías no tiene más misión que acoger las cintas de mineral y la otra el tráfico rodado o arrastrado, de modo que los cruces entre ambas se realizarán a distinto nivel.

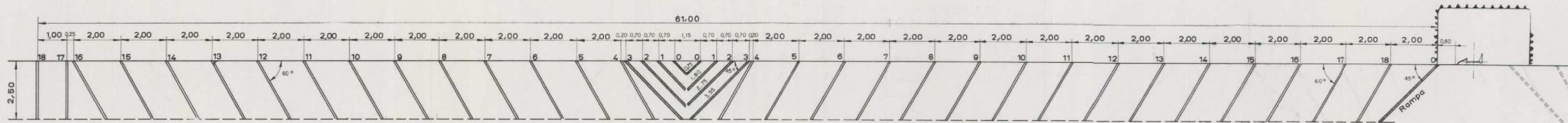
Por último, no hemos desechado la idea de introducir la bicicleta como unidad elemental de transporte. Sólo lo decidiremos a la vista de las irregularidades que presenten los pisos de las galerías cuando haya transcurrido un tiempo prudencial desde su apertura. Es tan fuerte el empuje y consi-



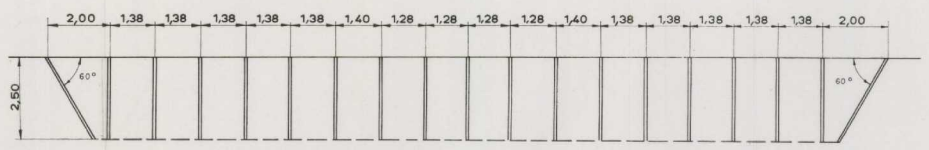


Proyecto de arranque en cámaras, sacando el entredós y capa B con minador continuo J. 6 PM-3, y la capa A con explosivos.

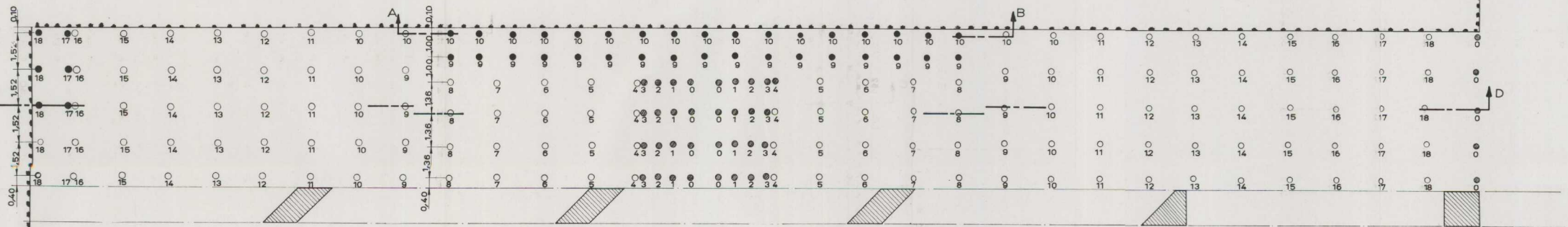




SECCIÓN LONGITUDINAL C-D



SECCIÓN LONGITUDINAL A-B



PLANTA

- Tiros a 45°
- " " 60°
- " verticales

FORMA DE LA CARCA DE BARENOS

N.º de los micros	N.º de cartuch. de goma/tiro	N.º cartuchos de amonita/tiro	Total micros del mismo número	Total Kgs. dta. goma	Total Kgs. amonita	Observaciones
0	1	2	8	0,800	1,200	Tiros de salida a 45°
1	3	6	8	2,400	3,500	
2	5	12	8	4,000	7,425	
3	6	17	8	4,800	10,280	
4	6	12	8	4,800	7,425	
5	6	12	8	4,800	7,425	
6	6	12	8	4,800	7,425	
7	6	12	8	4,800	7,425	
8	6	12	8	4,800	7,425	
9	6	12	8	4,800	7,425	
10	6	12	12	7,200	11,138	Tiros a 60° y verticales las dos últimas hiladas
11	6	12	10	6,000	9,280	
12	6	12	10	6,000	9,280	
13	6	12	10	6,000	9,280	
14	6	12	10	6,000	9,280	Tiros verticales en el centro de la talla
15	6	12	10	6,000	9,280	
16	6	12	10	6,000	9,280	
17	6	12	10	6,000	9,280	
18	6	12	10	6,000	9,280	Rampa
9	6	10	17	10,200	13,350	
10	6	10	17	10,200	13,350	
0	6	17	5	3,000	6,425	
Total kgs.				119,400	185,458	

Silvinita arrancada:  $59,75 \cdot 6,60 \cdot 2,50 \cdot 2 = 1.971,75$  Tm.

Consumo:  $\frac{119,4 + 185,458}{1.971,75} = 154$  gr./Tm.

Nota.—La rampa se disparará después de la voladura.

La dinamita está calculada para una potencia de capa de 2,50 m., siendo constante la goma en caso de aumentar o disminuir la capa.

guiente deformación del piso, en según qué casos y condiciones, que podría imposibilitar este tipo de transporte, con el que estamos encariñados.

#### AVANCE DE GALERÍAS

Se harán con minador continuo Joy, 6 PM-3AN, de 355 CV, de potencia, de 3,8 metros de ancho por 3 metros de alto (ver fig. 2).

La altura es la mínima compatible con el trabajo normal de la máquina. La anchura pretende dejar un amplio margen de seguridad ante la segura subida del piso, por empuje ascensional.

El minador cargará directamente sobre un camión lanzadera JOY 10SC-26PN-4, de 155 CV, el cual verterá sobre la cinta. El alejamiento máximo permisible de la cinta al minador, vendrá en función del rendimiento de arranque de éste y se determinará prácticamente.

Como cada 70 metros aproximadamente, se comunicarán las dos galerías paralelas próximas, éstas se irán avanzando simultáneamente con el mismo equipo, de modo que el minador y camión pensarán alternativamente de uno a otro frente. Posiblemente la frecuencia de los cales entre ambas galerías vendrá dada para la autonomía máxima encontrada para el camión, de acuerdo con las consideraciones del párrafo anterior.

Un ventilador 2064HM de 16,56 KW para 500 V. y 50 Hz. seguirá el avance a saltos iguales o mayores que la cinta. Su impulsión irá unida a una manguera flexible de 600 mm.  $\varnothing$  que llegará hasta el propio pozo, con objeto de no contaminar de polvo las restantes labores. Cuando ya haya tajos abiertos y suficientemente adelantados en su explotación para permitirlo, se llevará el final de la manguera a ellos, sobrepasándolos todo lo necesario para que no estorbe el polvo. La aspiración del ventilador se acoplará a una manguera flexible armada hasta la misma cabeza cortante del minador, con lo que se asegurará una perfecta captación del polvo.

La plantilla de personal, por relevo, para el avance, será:

Un maquinista para el minador.

Un maquinista para el camión.

Un ayudante.

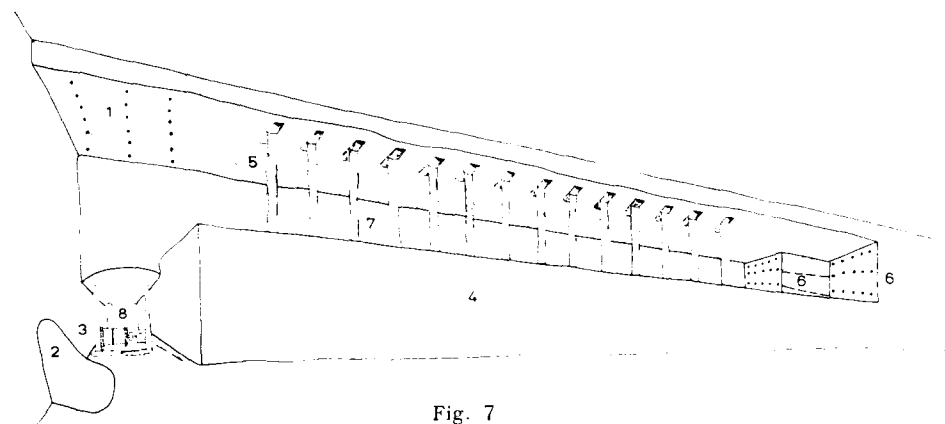
Un facultativo.

Cada vez que se prolongue la cinta, acudirá el personal supletorio necesario.

#### ARRANQUE

Con el minador Joy se arrancará la sal entredós, que se echará al hueco de la calle anterior mediante el camión lanzadera.

Por consiguiente, una vez acabada la pasada del minador, de 8 metros de anchura y 60 metros de longitud (plano IV), habremos arrancado toda la sal. La silvinita se arrancará con explosivo. Primero la capa B, que caerá sobre la A y será evacuada por el scraper sobre el transportador T—500. A continuación la capa A, según indica la figura 7, método que es en suma el mismo que se emplea en la actualidad, modificado en la medida necesaria para encajarlo dentro del nuevo sistema. El mineral así arrancado seguirá el mismo camino que la capa B.



- (1) Arranque de capa B para «abrir corte» y permitir arranque eléctrico de ésta.
- (2) Coladero para desescombro del mineral.
- (3) Cabestrante para arrastre del escombro.
- (4) Calle preparada.
- (5) Tiro en capa B para pega eléctrica de ésta.
- (6) Los dos bancos de sal barrenados.
- (7) Pies derechos para entibación capa B.
- (8) Sobreguia.

Se dispondrá una rampa de acero que guíe la cuchara sobre el transportador evitando la propia polea, cuya colocación se calculará con esmero, para evitar toda posibilidad de colisión entre cuchara y transportador.

Pensamos, de acuerdo con los constructores y algunos usuarios consultados, que podrán trabajar los minadores dos y medio relevos diarios, reservando el otro medio para entretenimiento. De esta forma cabe esperar

450 Tm./día de sal intermedio

equivalentes en silvinita.

600 Tm./día con ley de 17 % K<sub>2</sub>O

Insistimos en que éstos son unos valores medios de cantidades muy dispares. Por consiguiente, las variaciones de potencias en las capas influirán muy importante sobre la producción, tal y como ocurre en la actualidad.

En el tajo, la plantilla necesaria para esta producción sería, en cada relevo:

- Un maquinista de minador.
  - Un maquinista de camión.
  - Un ayudante.
  - Un maquinista de scraper.
  - Un ayudante.
  - Dos barreneros } (6 parejas en las 24 h.).
  - Dos ayudantes }
  - Tres Servicios Auxiliares.
  - Un Facultativo.
- Es decir, 30 hombres en las veinticuatro horas.

PLANTILLA TOTAL DE INTERIOR Y RESULTADOS PREVISIBLES

Plantilla:

Arranque (y preparación, cuando la haya) .....	72 obreros
Cintas .....	6 »
Extracción .....	6 »
Servicios auxiliares .....	20 »
<hr/>	
TOTAL .....	104 obreros
Facultativos .....	6
Ingenieros .....	1

Además, todo el personal de talleres para entretenimiento, que no es preciso consignar para la siguiente comparación.

A efectos de rendimiento no contaremos el personal técnico, tal y como viene haciéndose tradicionalmente en esta zona.

Rendimiento de mina:

1.200 Tm. silv. : 104 hombres = 11.6 Tm./jorn.

Esta cifra es comparable a las

5,3 Tm. jorn.

actuales.

#### NOTA ADICIONAL

El 13 de septiembre de 1966 comenzaron unas reuniones de nivel técnico, entre representantes de Potasas de Navarra-Fodina, Minas de Potasa de Suria, Potasas Ibéricas y Unión Española de Explosivos, con objeto de estudiar la posibilidad de una explotación conjunta de la cuenca del Llobregat, a gran escala.

La idea se ha cristalizado en una planta única para tratar 400.000 Tm.  $K_2O$  al año, equivalentes a una extracción diaria de 10.000 Tm. de silvinita.

La meta es, por consiguiente, ambiciosa y encaminada a poder conseguir una unidad rentable y de dimensión suficiente para soportar la dura competencia internacional.

El estudio está terminado y en fase de redacción del informe correspondiente para someter a los Consejos de Administración de las citadas Sociedades.

Se ha adoptado en principio como base el plan de explotación más arriba descrito, con algunas modificaciones de detalle que la crítica del mismo ha sugerido.

Recibido el 30/11/67.

PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN

## MOVIMIENTOS DEL TERRENO SOBRE LOS TAJOS LARGOS DEL POZO DE GUENDULAIN

### 1. INTRODUCCIÓN

No cabe duda que, entre todos los métodos de explotación actualmente empleados, el que puede proporcionar mayores rendimientos es el de tajos largos con hundimiento controlado. Las posibilidades de concentración y mecanización que este método ofrece, hacen aconsejable su adopción siempre que las condiciones naturales del yacimiento lo permitan. Afortunadamente son bastante raros los casos en que capas poco pendientes de suficiente potencia no pueden ser extraídas por este procedimiento, y así el frente largo va extendiéndose cada vez más, no sólo en Europa, sino también en los Estados Unidos de América.

Las dificultades naturales que se oponen al empleo de este método de explotación en capas poco pendientes, son principalmente dos:

1. La naturaleza de los terrenos suprayacentes.
2. El comportamiento del techo inmediato al tajo.

Si los estratos situados encima del área explotada no se hundan progresivamente, a medida que avanza el frente, se corre el peligro de que súbitamente, cuando la luz del arco formado es suficientemente grande, se precipiten en la explotación, dando lugar a un catastrófico golpe de techo.

Por otra parte, es de todos conocido que el comportamiento del techo inmediato determina la carga sobre la fortificación y las condiciones de trabajo en el frente. Un techo inmediato demasiado rígido puede provocar, por instantáneas roturas del mismo, la caída de bloques enormes sobre el frente, mientras que, por el contrario, un techo demasiado friable puede ser imposible de mantener e impedir así que invada el frente.

Ahora bien, la técnica moderna nos permite, en cierto modo, vencer las dificultades que nos opone la naturaleza.

La investigación nos permite, no solamente conocer el origen de nuestro problema, sino también, en muchos casos, solucionarlo.

Al comenzar Potasas de Navarra, S. A., hace unos tres años, la explotación del Pozo de Guendulain por tajos largos con hundimiento controlado, se planteó el problema de determinar si la naturaleza de los estratos suprayacentes era realmente adecuada para una explotación de este tipo. La duda surgió como consecuencia del anormalmente pequeño descenso de la superficie sobre el área explotada. Con este motivo se dio comienzo a una investigación que hoy, después de dos años de estudios, nos permite por fortuna contestar a las preguntas que entonces nos hacíamos.

No es mi intención describir en este artículo los resultados de la investigación que hemos llevado a cabo. Esto lo dejo para más adelante. Quisiera, sin embargo, exponer un ejemplo de la forma en que la nueva ciencia de la Mecánica de las Rocas y Control de Estratos, puede abordar y resolver los viejos problemas mineros. Vamos a ver a continuación cómo hemos llegado a conocer el movimiento de los estratos suprayacentes a los tajos largos del pozo de Guendulain.

## 2. ANTECEDENTES

El primer paso antes de comenzar una investigación es conocer si lo que va uno buscando no ha sido descubierto ya antes. En nuestro caso, esto era desde luego difícil, ya que es casi imposible que las condiciones naturales de nuestro yacimiento puedan asemejarse a las de cualquier otro y, además, que en éste se hubiera hecho una investigación como la que nosotros necesitábamos. No obstante, en largas horas de estudio, hemos recorrido la mayor parte de la literatura sobre Mecánica de las Rocas y Control de Estratos, y esto, junto con las consideraciones teóricas y las medidas *in situ* y en el laboratorio, nos ha dado la solución del problema.

Hasta el presente, los investigadores experimentales han estudiado separadamente el movimiento de la superficie de todo el terreno situado sobre la explotación minera. Los teóricos, en cambio, han considerado la superficie como un plano más dentro del paquete de estratos suprayacentes a la capa.

Las mediciones del hundimiento superficial son muy numerosas. Como consecuencia de ellas se dispone, por ejemplo, en Inglaterra (1), de ábacos que permiten predecir el descenso de la superficie sobre las explotaciones carboníferas con un error máximo del 10 por 100.

Sin embargo, las medidas del movimiento de todo el paquete de estratos son aún muy escasas. Mientras que los investigadores de la superficie se han aplicado siempre a dar reglas empíricas para la predicción del hundimiento superficial, los que se ocupan de todo el terreno en movimiento han intentado crear, con los poquísimos resultados disponibles, diversas teorías so-

bre los movimientos de los estratos como consecuencia de las explotaciones mineras (2).

También se ha intentado crear modelos matemáticos que expliquen los resultados obtenidos por las medidas *in situ* de los desplazamientos de los estratos. El terreno ha sido considerado por los investigadores en diferentes ocasiones, como un medio elástico isótropo (3), o como un medio elástico transversalmente isótropo (4, 5), o como una sucesión de láminas elásticas del mismo espesor y módulo de Young, sin rozamiento entre ellas (6), o como un medio que obedece las leyes estocásticas (7).

Las fórmulas obtenidas por medio de estos modelos matemáticos, representan curvas que se ajustan más o menos a los hechos reales, pero sin conseguir llegar, por ahora, en la predicción de los descensos superficiales, a la exactitud proporcionada por los medios empíricos.

Con el objeto de determinar el mecanismo de los desplazamientos del terreno sobre el área minada, se han construido también modelos a escala de las explotaciones. Whetton y King (8) llegaron con su modelo de gelatina a obtener resultados muy semejantes a los observados en la realidad. Pero desgraciadamente todo esto no podría servirnos más que de orientación, ya que nuestro objeto era medir los desplazamientos de los estratos en nuestro propio yacimiento. Así pues, pensamos en dar el segundo paso, es decir, seleccionar la técnica de medición de que habríamos de servirnos en nuestra investigación.

## 3. INSTRUMENTACIÓN

Se trataba de medir el hundimiento de la superficie y el desplazamiento de los estratos.

Para medir el hundimiento de la superficie hemos usado el método, de todos conocido, de colocar líneas de hitos en el terreno. Los hitos son mojoneros de hormigón que penetran un metro en la tierra y constituyen las superficies que se nivelan periódicamente. Colocamos líneas de hitos longitudinales, es decir, perpendicularmente a los frentes, y transversales.

Dos son las técnicas más importantes para determinar el desplazamiento de los estratos. La más conocida es quizá la del «extensómetro», desarrollada en la Universidad de Newcastle upon Tyne (Inglaterra) por el profesor Potts (9). Otra técnica también muy interesante es la de los trazadores radioactivos (10).

Teniendo en cuenta nuestras circunstancias particulares, nos decidimos por la primera de estas dos técnicas e incluso conseguimos que el profesor Potts actuara de supervisor de la investigación.

La técnica del extensómetro puede deducirse de la observación de la

figura 1. Consiste en hacer una serie de sondeos sobre una zona del yacimiento que va a ser explotada en breve.

La profundidad de los sondeos debe de ser tal que se corten todos los estratos, cuyo desplazamiento se quiera medir. Una vez realizados los son-

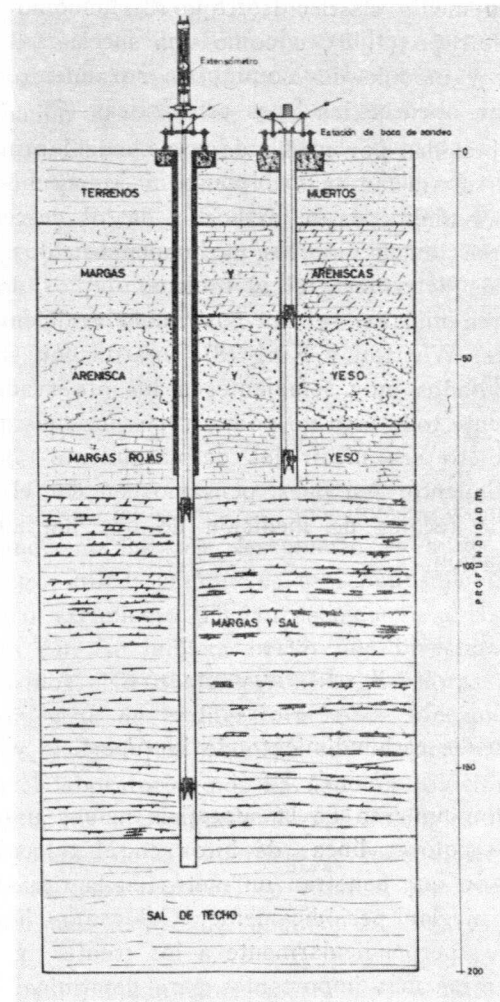


Fig 1.—Instrumentación en los sondeos 6H y 6Hb

deos se introducen en ellos anclajes hidráulicos (fig. 2) que se colocan en los puntos cuyos desplazamientos se quiere medir. Para colocar los anclajes basta expansionarlos por medio de aceite, inyectado desde la superficie una vez introducido el anclaje en el sondeo. Fijo a cada anclaje va un cable que llega hasta la superficie. En la boca de cada sondeo existe una plata-

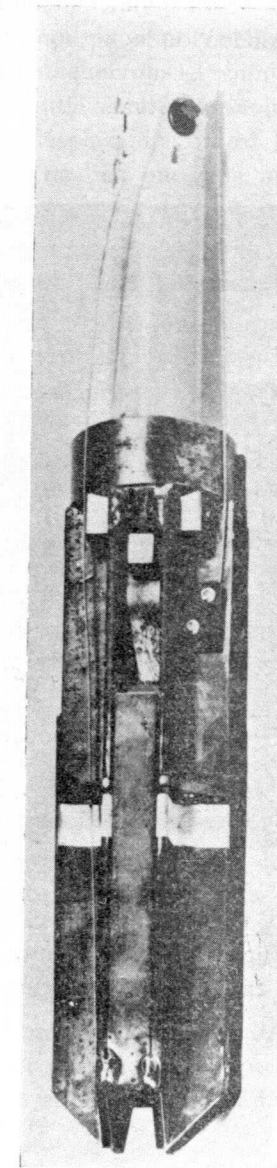


Fig. 2

forma llamada estación de boca de sondeo, donde se rosca el extensómetro (fig. 3). El extensómetro es un instrumento que aplica una tensión fija y constante al alambre correspondiente al anclaje situado en el punto cuyo desplazamiento se quiere medir, y determina al mismo tiempo el movimiento de dicho punto con respecto a la superficie.



Como la superficie también se va hundiendo, por medio de una nivelación de la estación de boca del sondeo, a la vez que hacemos la lectura con el extensómetro, podemos determinar el movimiento absoluto producido en cualquier punto del paquete de estratos situado entre la explotación y la superficie a medida que avanza el frente.

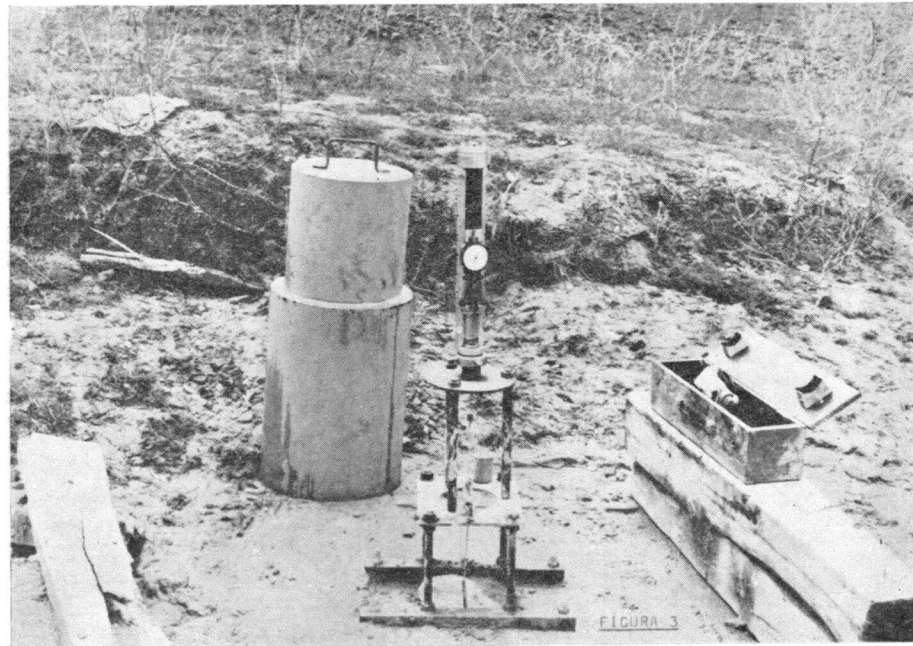


Fig. 3

El corte geológico simplificado del yacimiento de Potasas de Navarra, en la zona en que llevamos a cabo la investigación descrita en este artículo, es el siguiente:

- 20 m. de sal de muro.
- 2 m. de silvinita.
- 14 m. de carnalita.
- 60 m. de sal de techo.
- 100 m. de margas.
- 40 m. de areniscas.

Para prevenir la entrada en la mina del agua contenida en las areniscas a través de los sondeos dados hasta la sal de muro, se ha entubado y cementado el tramo de dichos sondeos que va en arenisca. Por este motivo, para poder colocar anclajes en los puntos deseados del paquete de estratos, nos

hemos visto en la necesidad de dar, junto a cada sondeo largo, otro corto que llega solamente hasta un poco por debajo del muro de las areniscas (fig. 1).

Hemos dado cinco pares de sondeos y colocado en total 20 anclajes, es decir, podemos medir el desplazamiento de 20 puntos del terreno suprayacente a la explotación a medida que ésta avanza.

Para la correcta interpretación y formulación matemática de los resultados obtenidos de las medidas *in situ*, se requiere conocer las características mecánicas de las rocas que se ponen en movimiento para restablecer el equilibrio del terreno que ha sido alterado por la explotación.

Con este motivo se tomaron muestras representativas de la sal de muro, silvinita, carnalita, sal de techo (se presenta muy fajeada con abundantes margas) y arenisca, que se presenta también fajeada con muchas margas y es portadora de agua. Luego, estas muestras se estudiaron en el laboratorio para determinar su módulo de Young, coeficiente de Poisson, resistencia a la tracción y compresión, propiedades de fluencia, envolvente de Mohr, etcétera.

#### 4. RESULTADOS OBTENIDOS

Los movimientos del terreno son siempre procesos lentos y, a pesar de que las mediciones se comenzaron hace ya casi dos años, aún no hemos llegado al restablecimiento total del equilibrio en la zona sometida a investigación.

Por este motivo no es mi intención hacer aquí una exposición académica de los resultados obtenidos, algunos de los cuales son ciertamente relevantes, pues pienso dejar esto para cuando la investigación esté totalmente terminada. Sin embargo, el problema que nos planteamos al principio ha quedado ya resuelto con las mediciones hasta ahora efectuadas y éste es el tema que describiré en este apartado.

En efecto, como consecuencia de los resultados obtenidos, podemos tener la certeza, como se verá a continuación, de que el pozo de Guendulain es perfectamente explotable por el sistema de tajo largo con hundimiento controlado.

Además de las mediciones *in situ* vamos también a exponer los resultados de los ensayos de laboratorio en la medida que contribuyan a una mejor comprensión de los fenómenos que hemos observado y medido en la mina.

##### 4.1. Ensayos de laboratorio

Los ensayos que hemos realizado en los laboratorios de la Universidad de Newcastle upon Tyne, han sido muy numerosos, pero sólo describiremos



aquí aquellos que consideramos más interesantes para la resolución del problema que venimos tratando (11).

Las características mecánicas de las rocas que desempeñan un papel importante en el mecanismo del movimiento de los estratos sobre la explotación, han sido concienzudamente determinadas.

#### 4.1.1. Módulo de Young y coeficiente de Poisson.

Las probetas fueron sometidas a compresiones y descompresiones sucesivas. El módulo de Young viene representado por la pendiente de la curva esfuerzo-deformación. Para nuestros cálculos hemos tomado generalmente la pendiente del tercer ciclo.

En la figura 4 puede verse un ejemplo de la característica esfuerzo-deformación de la carnalita. Los resultados de toda la serie de ensayos pueden

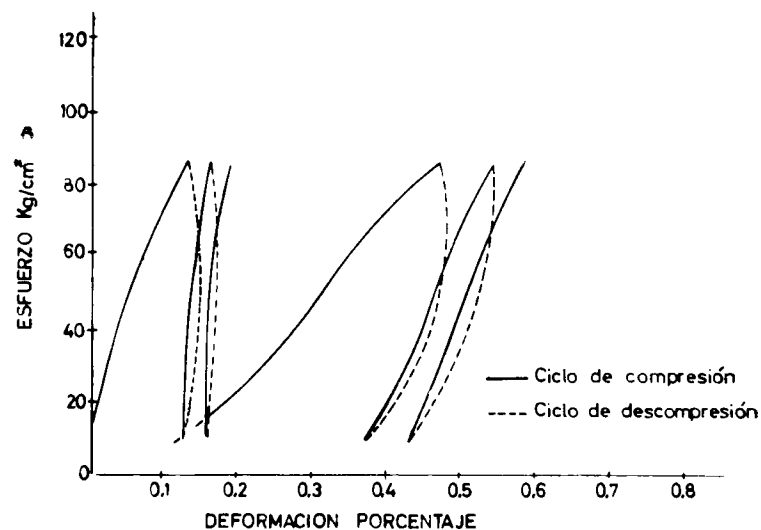


Fig. 4.—Característica esfuerzo-deformación de la carnalita

verse en la tabla 1. Como podrá verse, ni el módulo de Young ni el coeficiente de Poisson presentan gran variación para las diferentes rocas ensayadas, excepto cuando la marga está presente en cantidades considerables. La marga es más plástica que el resto de las rocas en estudio, por eso se deforma rápidamente bajo la presión, dando lugar a un bajo módulo de Young.

TABLA I

Valores medios del Módulo de Young y del Coeficiente de Poisson

R O C A	MODULO DE YOUNG		COEFICIENTE DE POISSON	
	Valores medios (x10 <sup>4</sup> Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviaciones típicas (x10 <sup>4</sup> Kg/cm <sup>2</sup> )	Valores medios	Desviaciones típicas
Arenisca seca.....	8,32	0,85	0,30	
Arenisca húmeda.....	7,14			
Arenisca con marga.....	3,92			
Sal y marga (techo).....	50 % sal 8,95 marga 2,24	0,2	0,31	
Carnalita.....	5,60	0,60	0,33	
Silvinita.....	6,30	0,76	0,35	0,046
Sal (muro).....	7,70	0,60	0,29	0,027

#### 4.1.2. Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión de las rocas más importantes, desde nuestro punto de vista, en el pozo de Guendulain, puede verse en la tabla 2.

TABLA II

Resistencia a la compresión de las rocas del Pozo de Guendulain

R O C A	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación típica (Kg/cm <sup>2</sup> )
Arenisca seca.....	Cubos de 4, 403	32,4
	Cubos de 2, 410	24
Arenisca húmeda.....	Cubos de 2, 288	29,7
Sal y marga (techo).....	50 % de sal 299 marga 108	
Carnalita.....	150	15
Silvinita.....	355	16,5
Sal (muro).....	331	12,4

Los ensayos fueron realizados en general con probetas cúbicas de 4 pulgadas de arista, aunque también, como puede verse en la tabla 2, se utilizaron probetas de 2 pulgadas.

Los resultados obtenidos indican que la mayor resistencia a la compresión corresponde a la arenisca, seguida por la silvinita, sal de muro, sal y marga (techo) y carnalita. Sin embargo, si excluimos la carnalita, podemos

afirmar que no hay gran diferencia entre las resistencias a la compresión de las diversas rocas, excepto cuando éstas incluyen gran cantidad de marga. La arenisca de nuestro yacimiento es particularmente débil, si se la compara con otras cuya resistencia a la compresión es del orden de 1.000 kilogramos/cm<sup>2</sup>. También puede apreciarse que la arenisca húmeda es mucho menos resistente que la seca.

4.1.3. *Fluencia de las evaporitas bajo compresión.*

Es ya de sobra conocido que ciertos materiales, entre los cuales se encuentran las evaporitas, sometidos a una presión constante, e inferior a la de ruptura, durante cierto tiempo, acaban rompiéndose. El tiempo necesario para llegar a la destrucción de la probeta depende de la carga aplicada.

Con el fin de estudiar las propiedades de fluencia de la carnalita, silvinita y sal de muro de nuestro yacimiento, hemos realizado numerosos ensayos en el laboratorio con probetas de estos materiales. En la figura 5 pueden verse las curvas de fluencia de la carnalita para diferentes presiones.

Una de las conclusiones de los ensayos es que la silvinita es más plástica que la sal de muro y ésta, a su vez, más que la carnalita.

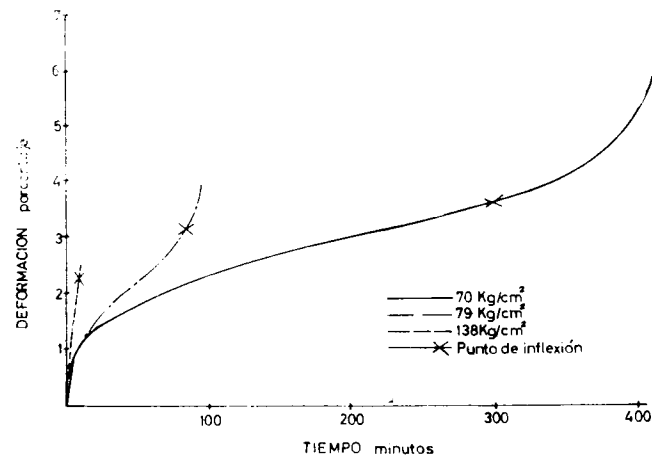


Fig. 5. — Curvas de fluencia-carnalita

4.1.4. *Resistencia a la tracción*

La resistencia a la tracción de las rocas que venimos estudiando se determinó por medio de ensayos de flexión de probetas de dichas rocas. Los resultados obtenidos pueden verse en la tabla 3. Como podrá observarse,

comparando esta tabla con la tabla 2, la resistencia a la tracción de las rocas es inferior a 1/10 de su resistencia a la compresión.

TABLA III

*Resistencia a la tracción de las rocas de Guendulain*

R O C A	Resistencia a la tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación típica (Kg/cm <sup>2</sup> )
Arenisca seca.....	35,4	4,1
Arenisca húmeda.....	23,9	4,5
Sal y marga (techo).....	30,6-107,5	—
Carnalita.....	12,7	5,6
Silvinita.....	27,6	6,7
Sal (muro).....	30,4	7,6

La resistencia de la sal y marga (techo) depende de la cantidad de marga presente en la probeta. Así, pues, la probeta número 2 contenía una proporción de marga del 20 por 100 y su resistencia a la tracción fue de 107,5 kilogramos/cm<sup>2</sup>, mientras que la número 4 contenía 40 por 100 de marga y rompió a 30,6 kg/cm<sup>2</sup>.

Las probetas de arenisca húmeda resultaron, como en los ensayos de compresión, aproximadamente un 30 por 100 menos resistente que las secas.

4.1.5. *Envolvente de Mohr.*

Las envolventes de Mohr de una roca son la más clara descripción de la resistencia a la rotura de dicha roca, sometida a cualquier campo de presiones biaxiales. Cuando el círculo de Mohr representativo del estado de presión a que está sometida la roca corta a la envolvente, la roca se rompe. En la figura 6 puede verse la envolvente de Mohr de la sal de muro. De la

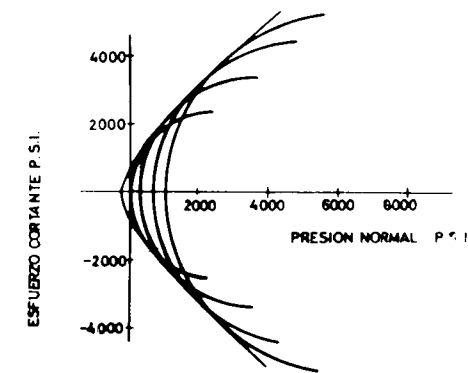


Fig. 6. — Envolvente de Mohr. Sal (muro)

forma de dicha envolvente se deduce que basta con un esfuerzo de tracción pequeño para provocar la ruptura de la sal de muro y que si, por el contrario, se la somete a compresión, la ruptura sobreviene como consecuencia del esfuerzo cortante originado.

#### 4.2. Mediciones *in situ*

Las mediciones del hundimiento superficial va a hacer tres años que comenzaron y ya hace casi dos que empezamos a medir los desplazamientos del terreno situado sobre las explotaciones. Pero, a pesar de todo este tiempo transcurrido, aún no se ha restablecido completamente el equilibrio en las zonas sometidas a investigación y, por tanto, no podemos ofrecer todavía una descripción completa del mecanismo del movimiento de los estratos sobre la explotación. No obstante, la solución del problema planteado la tenemos ya. En efecto, podemos asegurar que los terrenos suprayacentes al área minada hunden lenta y progresivamente al avanzar el frente, es decir, la naturaleza de dichos terrenos es perfectamente adecuada para la explotación por tajo largo con hundimiento controlado.

Vamos a exponer a continuación los resultados más significativos obtenidos de las nivelaciones y de las medidas con el extensómetro.

##### 4.2.1. Hundimiento superficial.

Los resultados que describiremos en este apartado son los correspondientes al tajo JP-41. La profundidad media del tajo es de unos 260 metros, y la potencia explotada, de 1,85 metros.

En la figura 7 puede verse la curva de desarrollo del hundimiento de este tajo. En ordenadas hemos ido llevando el hundimiento total de un determinado hito situado sobre dicho tajo y en abscisas el avance del frente, tomando como origen el plano vertical que pasa por el hito cuyo descenso representamos.

La forma de la curva es la clásica para las explotaciones como la nuestra, pero el hundimiento del terreno situado en la vertical del frente, en un momento determinado, ha sido de 66 mm. solamente. Esto representa un 3,5 por 100 de la potencia explotada, lo cual es muy poco comparado con el 14 por 100 que es el porcentaje usual en los terrenos carboníferos (1). Por consiguiente, podemos afirmar que el hundimiento superficial sobre las explotaciones del pozo de Guendulain comienza, hasta la fecha, más lentamente que lo que es usual en los terrenos carboníferos, pero luego se desarrolla normalmente.

En la figura 8 puede verse el perfil de hundimiento y la curva de pendientes según la línea longitudinal de hitos (perpendicular al frente) del tajo

JP-41. Ambos gráficos presentan la forma habitual en este tipo de explotaciones.

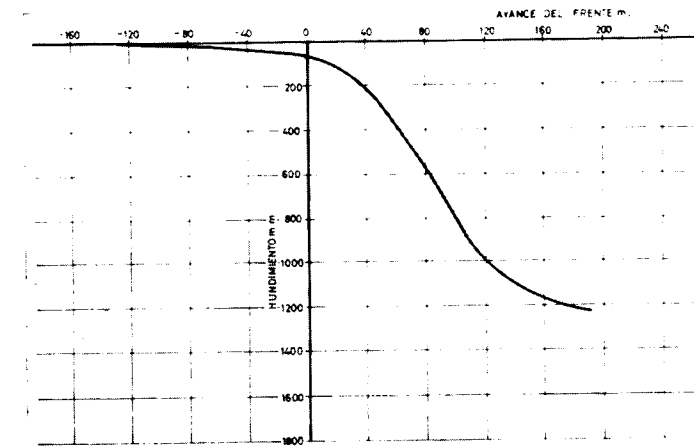


Fig. 7.—Curva de desarrollo del hundimiento PJ-41 (lino 16)

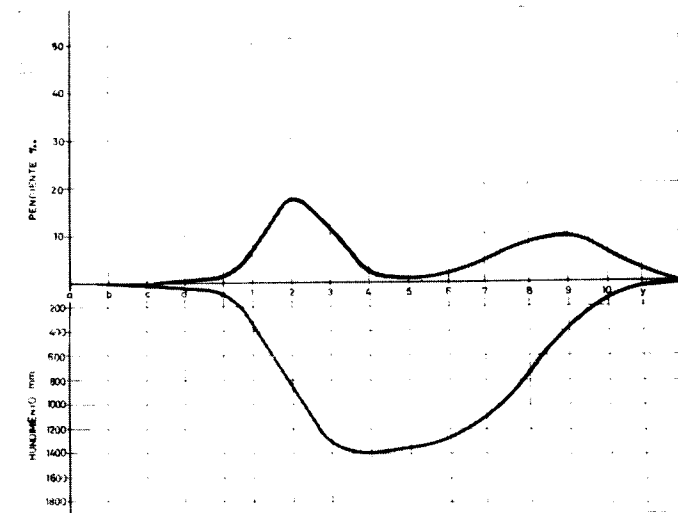


Fig. 8.—Perfil de hundimiento y curva de pendientes. Tajo JF-41

##### 4.2.2. Desplazamientos del terreno.

Para dar una idea del mecanismo del movimiento del paquete de estratos bastará que exponamos aquí los resultados obtenidos de los anclajes situados en los sondeos 611 y 611 bis, que se hallan sobre el tajo JP-45 (figura 1).

El hundimiento absoluto de cada uno de los anclajes y de la superficie, en función del avance del frente, puede verse en la figura 9. En dicha figura se observará que el anclaje situado a 158,3 metros de profundidad en el muro de la marga ha hundido hasta la fecha 1.550 mm., mientras que el situado en el techo de la misma y todos los demás, han descendido lo mismo que la superficie, es decir, unos 1.200 mm.

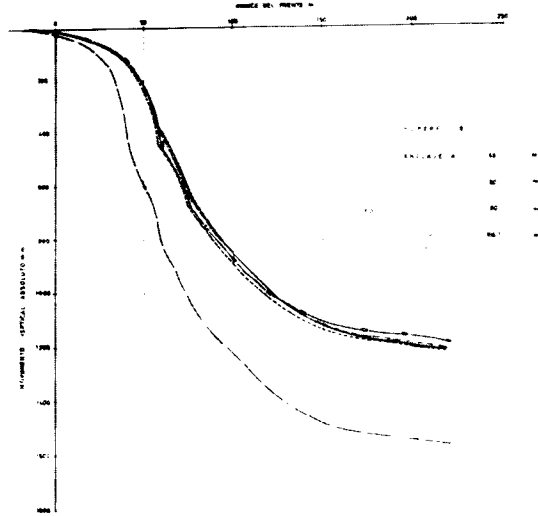


Fig. 9.—Movimiento absoluto de los anclajes. Sondeos 6H y 6Hb

En general, podemos deducir de la observación del gráfico de movimientos absolutos que la base de las margas va descendiendo rápidamente sobre el área explotada después de que el frente ha pasado, mientras que los paquetes de arenisca ven retardado su movimiento y van hundiéndose conjuntamente, como un todo, desde su base hasta la superficie.

Como es fácil de imaginar, el retardo y la menor magnitud del hundimiento de las areniscas se debe a un esponjamiento de la marga. Esto queda confirmado al observar que el anclaje situado en el techo de los estratos de margas se hunde conjuntamente con el muro de las areniscas, es decir, que no hay separación de estratos entre ambas, lo cual hubiera podido ser el motivo del retraso del hundimiento de las areniscas.

En la figura 10 puede verse la deformación del terreno comprendido entre anclajes consecutivos, o entre anclaje y la superficie, en función del avance del frente. Aquí puede verse, confirmado lo dicho anteriormente, que la dilatación de las margas llega a casi 0,6 por 100, mientras que la de las areniscas no llega al 0,2 por 100. Como consecuencia de esta gran dilatación, las margas se despegan y fisuran, generalmente en el sentido de la

estratificación, y con su esponjamiento impiden el descenso de los terrenos que yacen sobre ellas.

Las areniscas, en cambio, apenas han experimentado dilatación y, por consiguiente todos sus estratos han descendido conjuntamente, sin que se hayan producido despegues entre ellos.

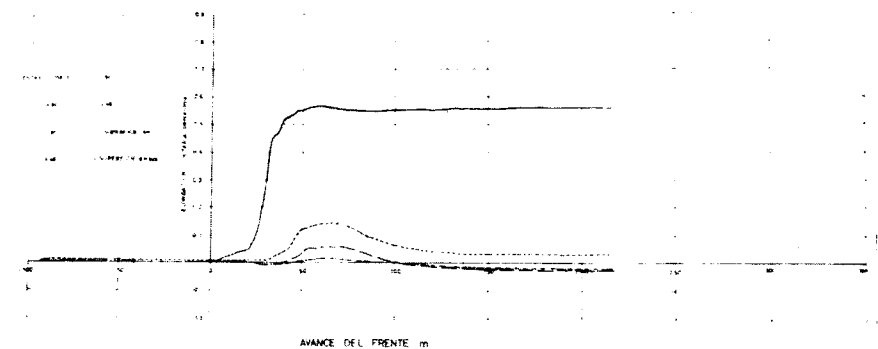


Fig. 10.—Elongación unitaria de los estratos. Sondeos 6H y 6Hb

Este diferente comportamiento de unas y otras rocas, está de acuerdo con sus características mecánicas investigadas en el laboratorio.

Como podrá apreciarse de todo lo dicho hasta ahora, podemos estar seguros de que los estratos suprayacentes a las explotaciones del pozo de Guendulain, se adaptan perfectamente a las condiciones exigidas para una explotación por frente largo con hundimiento controlado. Además, tenemos ya un conocimiento bastante completo del mecanismo del movimiento de dichos estratos.

### 5. CONCLUSIÓN

Hemos presentado en este trabajo un ejemplo de las posibilidades que ofrece la nueva ciencia de la Mecánica de las Rocas y Control de Estratos para resolver los problemas mineros. Pero el panorama que dicha ciencia presenta es mucho más amplio.

Su aplicación en las minas más adelantadas del mundo, está permitiendo incrementos considerables en el porcentaje de extracción dentro de unas condiciones de trabajo más seguras. Las Escuelas de Minas, conscientes de su importancia fundamental, están dando un incremento considerable a la enseñanza de esta materia.

Ha de llegar el día en que una mina pueda proyectarse como actualmente se hace con un edificio o un puente.

Pero el campo de aplicación de la Mecánica de las Rocas no se limita

solamente a la minería, sino que se abre hacia la Geología e Ingeniería Civil.

En muchos países existe ya una nueva especialidad, que es el Ingeniero Geólogo, que no consiste más que en la aplicación de la Geología Mecánica de las Rocas a las Obras Públicas y a la Minería.

Se está creando una Ciencia para sustituir al Arte Minero. ;No nos quedemos atrás!

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) *Subsidence Engineers Handbook*, National Coal Board, Production Dep.
- (2) LABASSE, H.: *Rock pressure and rock movements, Proceedings of the International Congress about rock pressure and support in the workings*, Liege, 1951.
- (3) BERRY, D. S.: *An elastic treatment of ground movement due to mining I, Isotropic Ground*, «J. Mech. Phys. Solids», 1960, vol. 8, págs. 180 to 202.
- (4) BERRY, D. S. and SALES, T. W.: *An elastic treatment of ground movement due to mining II, Transversely Isotropic Ground*, «J. Mech. Phys. Solids», 1961, vol. 9, págs. 52 to 62.
- (5) BERRY, D. S. and SALES, T. W.: *An elastic treatment of ground movement due to mining III, Three dimensional problem, transversely isotopic ground*, «J. Mech. Phys. Solids», 1962, vol. 10, págs. 73 to 83.
- (6) SALAMON, M. G.: *The influence of strata movement and control on mining development and design*, «Ph. D. Thesis», University of Durham, 1962.
- (7) LITWINISZYN: *The theories and model research of movement of ground masses, Proceedings of the European Congress on ground movement*, Leeds, 1957.
- (8) WHETTON, J. T. and KING, H. J.: *Mechanics of mine subsidence, Proceedings of the European Congress on ground movement*, Leeds, 1957.
- (9) POTTS, E. L. J.: *Underground instrumentation*, «Colo. Sch. Mines», vol. 52, 1957, págs. 174 to 181.
- (10) KANLYBAEVA, Zh. M.: *Dynamics of displacement of a stratum under the influence of working gently dipping coal seams based on geophysical data*, «International Conference on Strata Control and Rock Mechanics», New York, 1964.
- (11) RAMÍREZ, P.: *A study of longwall mining in potash*, «M. Sc. Dissertation University of Newcastle upon Tyne», 1966.

Recibido el 8-VII-67.

Noticias

## JORNADAS MINERO-METALURGICAS

Durante los días 15 al 20 del mes de mayo se celebraron en Asturias las III Jornadas Nacionales y I Internacionales Minero-Metalúrgicas, patrocinadas por la Asociación Nacional de Ingenieros de Minas.

En el acto inaugural, celebrado el día 15 en la Universidad Laboral de Gijón, habló el Sr. Targhetta, director general de Minas y Combustibles, de los diversos problemas de los sectores mineros y metalúrgicos, tocando, entre otros puntos, la situación de la minería del carbón, la siderurgia, la investigación minera y la formación de especialistas. Destacó la necesidad de un tratamiento fiscal especial para la minería, y dijo que la administración está considerando las posibilidades de establecer la desgravación por factor de agotamiento.

En la misma sesión, el director del Instituto Geológico y Minero, Sr. Aranguren, habló sobre Energética. Hizo un análisis de la demanda de energía en nuestra patria para un futuro próximo, estudió la utilización racional de los recursos en orden a cubrir aquella demanda, poniendo de relieve la posibilidad y necesidad de dar preferencia al carbón en la generación de electricidad, visto que las reservas petrolíferas, nucleares e hidráulicas son muy limitadas.

El día 17 se celebró en la Escuela de Minas de Oviedo un acto homenaje a D. Luis Adaro y Magro, ilustre ingeniero de Minas, geólogo y hombre de empresa, al que, sin lugar a dudas, puede considerarse como el creador de la gran industria minera en Asturias.

La sesión de clausura de las Jornadas fue presidida por el ministro de Industria señor López Bravo. Analizó las características de la industria minero-metalúrgica, poniendo de relieve su carácter básico en el desarrollo económico y ponderando su escasez de rentabilidad. Ha de ser, pues, el Estado, dijo el ministro, a través de su directa o indirecta intervención y de las oportunas ayudas fiscales, arancelarias y crediticias, quien estimule la promoción y desarrollo de las empresas mineras y siderúrgicas, no escatimando esfuerzos para conseguir mantener una adecuada explotación de los recursos propios y una correcta estructura productiva en estos sectores básicos, aunque, naturalmente, dentro de criterios económicos.

Simultáneamente con las Jornadas Minero Metalúrgicas, tuvo lugar en Gijón la Primera Feria Internacional de Maquinaria de minas, yacimientos y canteras, en la que participaron catorce países, y se exhibió material por valor de 250 millones de pesetas, pudiendo verse máquinas y maquetas de las más prestigiosas marcas.

## DISCURSO DEL MINISTRO DE INDUSTRIA SR. LOPEZ BRAVO

Quiero que las primeras palabras de mi intervención en estas III Jornadas Nacionales Minero-Metalúrgicas sean de felicitación a sus organizadores, los miembros de la Asociación Nacional de Ingenieros de Minas de España; de bienvenida a los técnicos de otros países, cuya participación en las sesiones de trabajo ha hecho posible que estas reuniones sean calificadas como las Primeras Jornadas Minero Metalúrgicas Internacionales celebradas en nuestro país; y de agradecimiento a todos por la satisfacción que me produce el acompañarles en este brillante acto de clausura.

La documentación que recogía los trabajos y conclusiones de los anteriores Certámenes, celebrados en Oviedo y Sevilla, fue y siguen siendo material de inestimable valor a la hora de fijar las directrices básicas de la política industrial de los sectores nacionales minero y siderometalúrgico, no sólo por la exhaustividad con que los temas fueron tratados, sino también por lo acertado de las conclusiones elaboradas. También en estas jornadas pueden tener todos ustedes la seguridad de que los trabajos presentados en estas jornadas ayudarán eficazmente a la mejor solución de los problemas que hoy día tienen planteados ambas actividades productivas.

Si fundamental es disponer de estudios previos técnico-económicos para orientar la evolución conveniente de la industria minero-metalúrgica, no menos esencial es, desde el punto de vista práctico, conocer los adelantos conseguidos por la investigación científica y técnica en la puesta a punto de nueva maquinaria y equipo para la prospección, preparación analítica y explotación rentable de los yacimientos mineros. La Primera Feria Internacional de la Maquinaria Minera, que actualmente se celebra en Gijón, constituye así el complemento idóneo de estas Jornadas.

En los sectores minero y siderometalúrgico, como industrias «de cabecera», básicas para el desarrollo, concurren una serie de características que los diferencian de otros no menos importantes en el conjunto del sistema productivo de un país. Se trata de actividades de cuyo resultado va a depender en gran parte el funcionamiento de las restantes industrias de bienes de inversión, bienes intermedios y bienes de consumo. De la adecuada explotación de los recursos mineros depende el coste de los productos extraídos, y, por tanto, en buena medida el de los metales beneficiados, el de los transformados a partir de ellos y por tanto, en definitiva, el de los bienes finales que van a ser utilizados directamente por los consumidores.

La batalla del hombre contra el medio se hace patente y clara en la explotación de los recursos del subsuelo; la herramienta es sólo el simple instrumento que potencia la capacidad física para arrancar de la tierra sus riquezas. Por ello, el concepto más puro de «valor», tal como era entendido por los economistas clásicos, aparece perfectamente reflejado en la industria extractiva.

En ella, el «valor añadido bruto» se aproxima —y hasta coincide en algunos procesos simples—, al valor del producto final obtenido. La participación del factor trabajo con relación a la del capital, en la generación de este valor añadido, es más importante en esta industria que en muchos otros sectores de la actividad económica, y el efecto multiplicador de la inversión realizada en empresas minero-metalúrgicas favorece directamente el desarrollo de la economía industrial, a través de la promoción de actividades complementarias.

Las industrias básicas actúan como centros generadores de renta e inducen al establecimiento de nuevas actividades que dependan estrechamente de ellas al ser la fuente de abastecimiento de materias primas para su proceso de transformación. Así se da lugar, por conexión entre procesos, a los que hoy se denominan economías de escala.

Esta era, interpretada en sentido amplio, la tesis sostenida por la misión del Banco Mundial en su informe sobre la economía española. En él se advertía que el crecimiento continuado de la industria es siempre esencial para elevar el nivel de vida, aumentar el número de puestos de trabajo y promover el desarrollo regional. Fácilmente se deduce, pues, que del adecuado desarrollo de las empresas minero-metalúrgicas depende en grado importante el desarrollo económico del sistema. La irregular marcha de estas industrias produce grandes estrangulamientos que perturban los favorables efectos inducidos de la inversión.

De otra parte, la Minería, la Siderurgia, la Metalurgia, requieren elevados volúmenes de inversión en instalaciones, maquinaria, equipo productivo, etc. Al ocupar en la escala de la producción los primeros lugares, el precio del mineral o del metal beneficiado ha

de estar lo suficientemente ajustado, para hacer posible la manufactura de los bienes de consumo a costes que permitan precios de venta asequibles a la capacidad adquisitiva de la demanda.

El gran volumen de las inversiones necesarias, las elevadas cargas financieras que ello comporta, la composición del valor añadido bruto en el que el factor trabajo tiene una participación muy importante, y la gran capacidad de la oferta exterior, son elementos, entre otros, que determinan la baja rentabilidad de las inversiones en la actividad minera y metalúrgica. Ello hace que el aliciente para el capital en estas actividades sea escaso y la propensión a la inversión privada muy reducida. Ha de ser, pues, el Estado, a través de su directa e indirecta intervención y de las oportunas ayudas fiscales, arancelarias y crediticias, quien estimule la promoción y desarrollo de las empresas mineras y siderúrgicas, no escatimando esfuerzos para conseguir mantener una adecuada explotación de los recursos y una correcta estructura productiva en estos sectores básicos, aunque, naturalmente, dentro de criterios de economicidad. Así se justifica que en ocasiones hayan de primarse con precios de garantía las ventas de carbones, que el Instituto Nacional de Industria actúe de lleno en los sectores siderúrgico y carbonero, que la competencia exterior fuerce al establecimiento de derechos arancelarios protectores y, por último, que las asignaciones para prospecciones mineras deban constituir un capítulo importante de las inversiones públicas de investigación científica y técnica.

El carácter estratégico de estos sectores hace que las responsabilidades derivadas de su gestión sean enormes, sin que pueda pretenderse que recaiga exclusivamente sobre el Estado el desarrollo de la actividad minera y metalúrgica. Quisiera llevar al ánimo de ustedes la ineludible obligación que todos tenemos de velar por el adecuado desenvolvimiento de estas unidades económicas. El volumen de población activa que ellas ocupan y su propia cualidad de industrias básicas así lo demandan.

La Minería española debe alcanzar, organizada en unidades de explotación racional, el grado de mecanización necesario para hacer posible, con productividades altas, compensar los elevados salarios que necesariamente han de ser pagados a la mano de obra empleada, siempre tendente a la emigración, hacia otros sectores industriales.

La concentración de las unidades de producción en factorías con dimensiones adecuadas es absolutamente imprescindible para poder acometer los planes de financiación y lograr esa mejora de la productividad que es elemento funcional del desarrollo.

La acción concertada en el sector hullero, hoy notoriamente deprimido, se orienta a conseguir una adecuada estructura productiva en el sector, sólo alcanzable si tiene lugar la integración de proyectos particulares en otros generales más viables. Esta es norma imperante en la explotación de los recursos carboníferos, tanto en los países de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero, como en Inglaterra y los países del E. de Europa. El proyecto HUNOSA, que agrupa a algunas de las principales empresas carboníferas asturianas, es experiencia que corresponde a tal criterio.

La elaboración del plan energético nacional, en el que juega principal papel el aprovechamiento racional de los recursos carboníferos del país, asegurará en breve: la venta de carbones inferiores a precios adecuados para su utilización en centrales térmicas próximas a las minas y el empleo reciente, mediante preparación de mezclas aptas, de las hullas destinables a la producción de cok. El consumo en aumento de combustibles líquidos y gaseosos habrá de atemperarse a las auténticas necesidades de la demanda y a las disponibilidades de carbones de vapor y de usos domésticos que resulten —a precios razonables— de una programación bien estudiada. Mientras España disponga de fuentes de energía propias, económicamente aprovechables, debe beneficiarse de ellas y no recurrir, más que en lo estrictamente indispensable, a otras cuyo consumo implica un mayor volumen de adquisiciones en el exterior. Se logrará así un doble efecto: reducir



el gasto de divisas por compras en el extranjero, y generar mayor renta en el interior, potenciando la creación de «economías conexas».

Paralelamente cabe esperar que la acción de concierto en la Siderurgia, cuyo objetivo principal es doblar la producción actual en el año 1972, dotará a este sector de la estructura adecuada. Factorías integrales a nivel europeo, plantas no integrales específicas e instalaciones para la producción de aceros especiales, completarán el cuadro de cuyo acabado, en un futuro ya próximo, podremos sentirnos orgullosos.

Conviene no olvidar que la asignación de créditos públicos y la concesión de ayudas especiales para la realización de estos proyectos, obliga en gran medida a las empresas beneficiarias a tomar conciencia, en su entera dimensión, de la importancia de su cometido dentro del sistema productivo y de la deuda social contraída.

Si añadimos a lo expuesto la simple enunciación de otros sectores como los de pirritas, plomo, cinc, aluminio, potasa, mercurio, flúor, fosfatos, cemento, etc., reflejo de la importancia de la industria minero-metalúrgica dentro de nuestro sistema productivo —de lo que la Administración española es consciente— se deduce, como evidente, la necesidad de una fluida política de inversiones al servicio de planes que persigan un alto nivel de racionalización y mecanización de las explotaciones de nuestras empresas, que las permita mejorar sus condiciones productivas y posiciones de competencia.

El esfuerzo inversor, sin embargo, no debe limitarse exclusivamente a la adquisición de bienes capital, con rendimiento inmediato; debe trascender también a los estadios previos de la producción, en los que la investigación ocupa un lugar fundamental. Esta afirmación, que erco válida con carácter general, cobra singular relieve cuando se hace referencia a la industria extractiva.

La inversión en investigación minera, aparte de su incierta rentabilidad a corto plazo, asegura las posibilidades productivas para el futuro, da solidez al sistema económico y, en definitiva, al potenciar el abastecimiento de materias primas, ofrece una alta rentabilidad a largo plazo.

Tales consideraciones pueden conducir a que el capital privado no se sienta impulsado a atender estas necesidades. Debe entonces el Estado acudir con sus recursos financieros a asegurar la continuidad y el desarrollo futuro de la actividad productiva en nuestros sectores básicos.

Con su acción, la Administración pública no debe pretender ejercer la labor investigadora con caracteres de exclusividad, sino intentar, simplemente, asumir de forma plena su función impulsora, e incluso realizadora en los casos en que la acción empresarial se muestre remisa, o en aquellos otros en que es necesaria la asignación de capital de utilidad pública.

El Estado ha de desarrollar y fomentar la investigación minera, tanto a través de medidas directas —habilitando los créditos que financien el funcionamiento de los Organismos creados a tal fin—, como indirectas a través de subvenciones y exenciones fiscales concedidas a la empresa privada.

Pero en todo caso se hace necesario alcanzar prontamente dos objetivos primordiales: coordinar la actuación en el campo de la investigación geológica y minera de los diversos Organismos oficiales y paraestatales de que disponemos, y lograr una identificación perfecta de los fines a conseguir mediante la actuación pública y privada. Bajo esta óptica, la acción conjunta de la Administración y de las empresas en el campo de la prospección minera se presenta como un elevado empeño de prometedores frutos que a toda costa debemos emprender.

El Ministerio de Industria, atento a la trascendencia del tema, viene actuando en el estudio de soluciones. De una parte, procurando dotar al Instituto Geológico y Minero de España de una adecuada organización y más ágil sistema operativo, a cuyos efectos está elaborando un proyecto de Ley —sólo pendiente en estos momentos de los retoques fina-

les que se deriven de los preceptivos informes de Organismos del propio Ministerio—, para transformar este importante y tradicional Centro investigador en Organismo autónomo. De otra, incrementando sus dotaciones, aún dentro de lo limitado de los recursos del Departamento, con aquéllos que le son dable disponer. Y de otra parte, finalmente, promoviendo en los Organismos del Gobierno acuerdos expresivos de la conveniencia de atender con carácter urgente la sentida necesidad de desarrollar una eficaz investigación minera; a este fin corresponde el contenido de las recientemente aprobadas directrices del Segundo Plan de Desarrollo, en las que de manera concreta se establece la elaboración de un Plan Nacional de Investigación Minera. A todos ustedes, que constituyen los cuadros de esta rama de la Ingeniería, les toca ahora mucho que decir y, sobre todo, que hacer, para que este Plan sea una brillante realidad.

A mí me cabe declarar mi confianza en los frutos que de esta ingente tarea ha de esperarse, sobre todo juzgando por los que ya se vienen obteniendo en las prospecciones que el Ministerio de Industria recientemente ha apoyado o promocionado, aun dentro de la modestia de sus recursos disponibles. Me refiero concretamente: al descubrimiento de importantes yacimientos de mineral de hierro en el SO. de España, en el que tan eficaz labor ha realizado el Instituto Geológico; al desarrollo en la cuenca del Guadalquivir del primer plan de hidrología subterránea en grandes áreas, que lleva a cabo dicho Instituto en colaboración con la E. A. O. y con ayuda financiera del Fondo Especial de las Naciones Unidas; al descubrimiento del gran yacimiento de fosfatos en nuestras provincias del Sahara, como resultado de la meritoria y ardua labor de un brillante equipo de ingenieros de Minas; y finalmente, por su relación con el tema, a la adjudicación a Hispanoil de una extensa zona para investigación de hidrocarburos en Kuwait, que permite albergar fundadas esperanzas de ir complementando un directo abastecimiento de crudos de petróleo.

A la hora de considerar todos los planes de actuación para el perfeccionamiento productivo de los sectores minero y metalúrgico, es imprescindible también prestar decidida atención a los problemas que afectan a la seguridad del hombre en ellos ocupado.

En la normal actividad de estos sectores, y principalmente en el minero, su personal está sometido, en mayor medida que en otras ramas productivas, a grandes riesgos que acechan constantemente su integridad física, mermando o destruyendo, a veces, sus aptitudes profesionales.

Los perjuicios sociales que se derivan de esa circunstancia y su definitiva erradicación, constituyen permanente motivo de preocupación para el Gobierno. En consecuencia, la Administración viene laborando en la actualización del Reglamento de Policía Minera y Metalúrgica, para dar entrada a cuantas disposiciones contribuyan a conseguir, de forma preventiva, un nivel de higiene y seguridad laborales dignas del mejor empeño con que nuestros hombres ponen su trabajo al servicio de estos sectores primarios y, en resumidas cuentas, al de toda la economía nacional.

Conviene resaltar que en esta obligada acción que permanentemente ha de desplegarse para mitigar y solucionar este grave problema social, y en el que ha de ocupar un importante papel la seguridad preventiva de accidentes y enfermedades profesionales, estamos implicados todos, la Administración y las empresas. La decidida actuación, desarrollada a todos los niveles laborales, para conseguir un buen clima de respeto a la importancia de la seguridad del personal, deberá ser un complemento decisivo a la hora de contabilizar los resultados. Sé que también esta cuestión ha sido profunda y seriamente debatida en estas Jornadas, y por ello les felicito y expreso mi complacencia.

Sólo me resta expresarles mi satisfacción y agradecimiento por el entusiasmo que ha presidido en sus reuniones y por la denodada entrega con que han estudiado exhaustivamente el completo temario que programaron. A los autores de trabajos mi felicitación.

Buen anticipo del servicio que la celebración de estas Jornadas ha de prestar a la Eco-

nomía nacional y de manera especial a las empresas de los sectores minero, metalúrgico, y de la energía, y a la Administración pública, son las conclusiones que oportunamente serán resumidas. Yo les prometo analizarlas detenidamente, al tiempo que encarezco a los Centros directivos de mi Departamento estudien con interés y profundidad toda la valiosa documentación y consecuencias que sus deliberaciones y los trabajos presentados han producido.

Muchas gracias por su atención.

En nombre del Jefe del Estado declaro clausuradas las III Jornadas Nacionales y Primeras Internacionales Minero Metalúrgicas.

\* \* \*

#### HOMENAJE AL EXCMO. SR. D. LUIS ADARO MAGRO

*Discurso del señor Aranguren Salas*

Me he sentido muy honrado con mi designación para rendir este homenaje a mi antecesor hace cincuenta años en la Dirección del Instituto Geológico y Minero de España, el ilustre ingeniero de Minas y hombre de empresa que dedicó gran parte de su vida al desarrollo económico e industrial de Asturias, y que terminó sus días al frente de altos cargos en la Administración, don Luis Adaro Magro.

El mejor homenaje que podemos imaginar es reseñar su vida de trabajo, que puede servir de ejemplo a todos los profesionales y muy especialmente a nosotros los ingenieros de Minas.

Nace Adaro en Madrid, el 17 de abril de 1849; ingresa en la Escuela de Minas a los dieciséis años y tras una suspensión de estudios por enfermedad de un año, termina la carrera en 1872, a los veintitrés años.

Después de una estancia haciendo prácticas en Almadén, es destinado al Distrito Minero de Oviedo.

Aquí encuentra Adaro un marco apropiado para desarrollar sus grandes ideas con gran actividad y entusiasmo, en muy diversos campos, pero principalmente en la geología y minería de carbón, ya que, adelantándose en muchos años a su generación y en medio de grandes incomprendimientos, estaba convencido y quería convencer a los demás de la importancia que, para los recursos energéticos del país, tendría una minería hullera bien organizada y de grandes dimensiones.

Por ello y después de colaborar en la reorganización y traslado de la Escuela de Capataces de Oviedo a Mieres, entra de lleno en su actividad hullera, empezando por ser Director de la Empresa D'Eichtele et Comp., que explotaba la mina Mosquitera, encargándose al poco tiempo de la dirección de las minas María Luisa y Justa; batalla incansablemente por la reducción de tarifas para el transporte del carbón del ferrocarril de Langreo, lo que consigue; lucha también por introducir el carbón asturiano en el consumo de la Marina de Guerra Española, acostumbrada a consumir carbón inglés, para lo que entre otras cosas publica el folleto titulado «Los carbones asturianos y la Marina de Guerra», y se preocupa de la revalorización de los menudos completamente deprecitados.

Preocupado con la idea de la concentración, logra en 1883 formar con capital español la Empresa «La Unión Hullera y Metalúrgica de Asturias» con las minas Mosquitera, María Luisa y La Justa.

En 1888 amplió el capital de la sociedad a cinco millones quinientas mil pesetas, ad-

quiriendo los grupos Sama y Santa Bárbara, y en 1900 La Barcelonesa y Reglana, en Sama y San Andrés.

Siguiendo su idea básica, en 1906 intervino eficazmente en llegar a la fusión de la Unión Hullera con la Sociedad Duro-Felguera, valorándose su aportación en 15.500.000 pesetas.

Se han necesitado sesenta años más, para la creación de Hunosa, agrupando en una sola Empresa la mayor parte de las Empresas de carbón asturianas, con el propósito de racionalizar la explotación de las minas, mejorar su productividad y sus costos.

Adaro inició también otra política muchas veces olvidada, la de mejorar las calidades y satisfacer las necesidades de los consumidores, empezando la construcción de lavaderos, siendo el primero el de la mina Mosquitera y continuando con otros varios.

También preocupado por el transporte del carbón de puerto a puerto, inició la política de adquirir barcos propios para realizarlo, siendo el primero el «Unión Hullera», de 500 Tm.

Con la misma preocupación del transporte consiguió aunar esfuerzos para conseguir que la Compañía del Norte construyese el ramal de Soto del Rey a Ciaño Santa Ana.

Intervino en la formación del Sindicato del puerto de Avilés y en las gestiones muy laboriosas hasta conseguir que el puerto del Musel fuera una realidad y tuviese comunicación con la línea férrea del Norte, ganando todas las bazas hasta conseguir una mejor salida de los carbones por los puertos asturianos.

Fue también Adaro el primer Presidente de la Cámara de Comercio de Gijón, fundador de la Sociedad de Crédito Industrial Gijonés, y de otras para desarrollar industrialmente la región asturiana.

Con un elevado espíritu social-cristiano se ocupó con preocupación humana del personal y sus familias.

Fundó Casas de Ahorros y de Socorros para enfermos con servicio médico y farmacéutico, construyó escuelas y viviendas, redactó el Reglamento de la Escuela de Mineros de Sama en 1905, inició la construcción del Hospital de Sama y, en 1907, colaboró en la creación de la Central Metalúrgica.

Cuando ya iba a ascender a la categoría de Inspector, pidió Adaro el reingreso en el Cuerpo de Minas, y en 1900 fue encargado de la Dirección del Mapa Geológico de España.

Dado su intenso trabajo en Asturias, poseía Adaro, al llegar a lo que era con otro nombre el Instituto Geológico de entonces, una gran experiencia, lo que, salvo oleadas de moda, en una de las cuales vivimos, tiene un gran valor, y así fue el que preparó la base de las publicaciones que algunas, incluso después de su fallecimiento, hizo el Instituto Geológico referentes a la Geología de Asturias y los criaderos de hierro de dicha provincia.

También publicó un importante trabajo titulado «Información relativa a la crisis del mercado hullero en España y medidas propuestas al Gobierno por la Comisión de estudio para la producción nacional», que firmó Adaro como Presidente de la Comisión.

La situación al comenzar el segundo semestre de 1915 era que España, que había vivido de espaldas a sus recursos energéticos propios, apoyándose en la importación de carbón inglés y despreciando el nacional, hasta el extremo que su propia producción era del mismo orden de magnitud que las importaciones, se encontraba de pronto como consecuencia de la guerra mundial sin las posibilidades de hacer frente a sus necesidades, habiendo fallado casi totalmente las importaciones de Inglaterra o de cualquier otro país.

Se trataba por tanto de conseguir en el menor tiempo posible una reactividad y un aumento de nuestra producción de carbón para salvar la situación.

Los ingenieros de Minas don Luis de la Peña y don Emilio González Llana, recorrieron el país para dar una información de «vistu», de lo que podría hacerse en aquellas circunstancias.

Las conclusiones más importantes a que llegó la Comisión fueron:

1.ª Se mantendrán por un plazo mínimo de cinco años las condiciones en que actualmente tributan la propiedad y la industria minera, sin aumentar sus impuestos por ningún concepto.

2.ª Se obligará a que consuman carbón nacional a las industrias, servicios dependientes del Estado, Provincia o Municipio y a las empresas de algún modo subvencionadas.

3.ª Se establecen primas para el transporte del carbón, tanto por barcos de cabotaje como por ferrocarril.

Lo importante a destacar es no la cuantía de aquéllas, sino el concepto.

4.ª Se estimula el aumento de producción que consiguen las minas según una escala progresiva.

5.ª Se garantiza un interés del 6 por 100 durante un cierto número de años a las inversiones de nuevos capitales en la minería del carbón, con carácter de reintegrables al Estado en forma de un pequeño canon sobre la producción.

Nuestra situación actual y la que se vislumbra para el próximo futuro no es la de 1915, pero sí la inmediatamente anterior a la primera guerra mundial, de la España alegre y confiada en el milagro y poco en sus propias fuerzas y recursos.

En este período de la vida administrativa de Adaro al frente del Instituto Geológico, publica en el Boletín XXXIV su trabajo «Emplazamiento de Sondeos para Investigar la Probable Prolongación de los Senos Hulleros por bajo de los Terciarios Mesozoicos», con el siguiente temario:

1.º Continuación probable de los senos hulleros centrales por bajo de los depósitos secundarios que los recubren.

2.º Naturaleza y espesor de los recubrimientos.

3.º Tectónica subterránea: pliegues, fallas, transgresiones y rocas intercaladas.

4.º Posición probable de las fajas correspondientes a los distintos tramos hulleros.

5.º Zonas ricas accesibles.

6.º Emplazamiento de las investigaciones.

Trabajo de gran importancia que continúa vigente y siendo guía para las investigaciones en esta zona.

Fue debido a los consejos de Adaro por lo que la Comisión del Mapa Geológico amplió su cometido y se convirtió en el Instituto Geológico y Minero de España (1).

El último acto público en el que Adaro tuvo una destacada intervención fue con motivo de las condecoraciones que el 10 de abril de 1915 impuso el Rey Alfonso XIII al ingeniero de Minas don Manuel Sáenz de Santa María y al ayudante don Manuel Fuelle, que, después de permanecer durante once días aprisionados en el interior de la mina Cabeza de Vaca, fueron felizmente rescatados (2).

Aquel verano fue Adaro a Asturias, donde enfermó de gravedad, volviendo a Madrid a primeros de octubre, presidiendo el mismo día de su llegada una reunión ordinaria del Consejo de Minería, regresando muy postrado a su domicilio, de donde no volvió a salir, falleciendo el día 21 del mismo mes.

Su fallecimiento fue muy sentido tanto en Madrid como en Gijón, a donde se trasladaron sus restos mortales, que fueron acompañados por altas personalidades de todos los campos de las distintas actividades que había desarrollado durante su vida profesional.

La vida fecunda de Adaro, su gran valor y sus indiscutibles méritos no tuvieron nunca una recompensa oficial, ni una simple condecoración.

(1) 4 de enero de 1914.

(2) Discurso Santa Bárbara (1914).

Esto fue recordado en el acto del descubrimiento de un monumento a su memoria, que tuvo lugar en Sama de Langreo, poco después de su fallecimiento, por el entonces Presidente del Consejo de Minería don José María de Madariaga, maestro también de nuestros especialistas en electrotecnia, que recordó los versos:

«Aquel entre los héroes es contado que el premio mereció, no quien lo alcanza por varias consecuencias del Estado.»

Este es el hombre, el Ingeniero de Minas, honra del Cuerpo, cuya memoria queremos perpetuar al descubrir la lápida colocada en esta Escuela. Yo sugiero a su Director que en la última lección del último curso, como el sello de salida, se les dé a los alumnos una última lección que les será muy útil. Contarles la vida de trabajo de don Luis Adaro. Magro.

#### DISCURSO DE DON TORCUATO HEVIA

Dice que don Luis Adaro fue una figura extraordinaria en la historia de la minería de Asturias, con dos facetas de su vida a las que no se las ha dado toda la importancia que tienen: fue el creador de la gran industria minera en Asturias y moldeó toda una generación de ingenieros, que le secundaron en su labor, considerándole como su maestro.

Conocedor de la importancia de la cuenca asturiana y de las ventajas que podría reportar la explotación de cotos extensos, encaminó sus gestiones a la formación de una sola entidad para las minas que dirigía, logrando constituir en 1886 la Unión Hullera y Metalúrgica de Asturias.

Sonó con explotar la riqueza minera y no se avino a que sus actividades profesionales se limitaran al laboreo de las minas que dirigía: pensó en una explotación conjunta y ordenada, tan extensa como fuera posible, del carbón y del hierro de toda esta provincia.

Hace sesenta años, cuando la producción carbonífera de Asturias era de poco más de dos millones de toneladas y cuando se sabía que la cuenca central, a ese ritmo de explotación, contaba con reservas para dos o tres siglos, Adaro sentía ya la preocupación de encontrar nuevas cuencas, nuevas capas de carbón explotables y propuso al Gobierno la conveniencia de efectuar sondeos en la zona situada al S. de Gijón.

El primero de los sondeos señalados por él, el de Caldones, se empezó en agosto de 1914 y cortó el terreno carbonífero a los 330 metros.

Convencido Adaro de que la explotación del carbón y del hierro, eran las industrias básicas de la riqueza nacional, pensó que para que aquéllas tuvieran consistencia y continuidad, era preciso conocer las disponibilidades de España en las de los minerales citados y puso todo su entusiasmo en esta ardua labor.

Por Orden del Gobierno informó sobre los carbones nacionales con miras a su empleo en la Marina de Guerra. En este informe, remitido el 1 de octubre de 1911, pone de manifiesto la importancia real del asunto y la diversidad de resultados obtenidos en las pruebas realizadas, y termina como síntesis final con cinco afirmaciones, de las cuales la primera dice así: «En España existen cuencas carboníferas bastante extensas, explotaciones mineras suficientemente desarrolladas y calidades de hulla excelentes y apropiadas para garantizar a la Marina de Guerra el aprovisionamiento de las clases y cantidades que le convienen en sus diversos servicios.

Hace alusión a la Guerra de Cuba y dice: «La severa lección recibida en 1898 durante nuestra lucha con los Estados Unidos de América, evidencia la ineficacia del sumi-

nistro extranjero para garantizar el libre movimiento y la eficacia máxima de los buques en el momento crítico de combate».

Con este motivo recuerda la hazaña de un barco de la Transatlántica Española, el «Montserrat», mandado por el capitán don Manuel Deschamps, que forzó por dos veces el bloqueo de La Habana bajo la amenaza de la Escuadra americana, y este acto heroico lo realizó quemando en sus calderas carbón asturiano de las Minas de Aller, de la Sociedad Hullera Española.

Atraviesa actualmente la minería de Asturias una gran crisis, pero esperemos con fe que vuelva a revivir y a tener días de esplendor.

## ADARO GEÓLOGO

por J. A. Martínez Álvarez

Excmos. e Ilmos. Sres., Señoras, Señores:

Me cabe el honor de decir unas palabras en torno a la obra científico-geológica de este investigador que fue don Luis Adaro y Magro. Lo hago con placer y emoción. Por una parte, en tanto que natural de esta región, al tener la suerte de ser portavoz de esta deuda de gratitud a tan ilustre asturiano de adopción, por su vivencia y merecimientos en pro de nuestra tierra. En otro sentido, porque me tengo que referir a un maestro, al que —personalmente— idealicé en los momentos de mi comienzo en el querer conocer algo de la geología cántabrica. Sobre su obra, ahora, transcurridos unos cuantos años de actividad profesional intentando contribuir a perfeccionar los intrincados problemas de la geología astur, tengo una dimensión que, no por ser algo más rigurosa, deja de ser menos digna de una abrumadora admiración.

Este ilustre maestro: 1) Polarizó sus trabajos fundamentales al conocimiento geológico de la Cordillera Cantábrica (región astur-leonesa). La recorrió palmo a palmo. Nunca mejor dicho, «da pateó». Los medios de comunicación de entonces reclamaban tal esfuerzo de quienes tenían esta vocación. 2) Las ingentes masas pétreas de esta privilegiada mole montañosa, este mundo o conjunto de lo no viviente, según nuestro decir común, tuvo amplia vitalidad para él. Supo ver más allá del puñado de años en que los hombres suelen hacer historia y, en compensación, disfrutó del ingente espectáculo de explicarse parte de los secretos que encierra el ámbito cántabro-astúrico. El conocimiento del ser y estar de las materias minerales que se atesoran en este dominio, amén de miles de aspectos teóricos especulativos diversos, estratigráficos y tectónicos constituyeron satisfacciones a su rigurosamente científica labor. 3) Verdadero investigador, hombre excepcional y vocacional, dejó una serie de publicaciones —legado inapreciable—, de todas sus observaciones y conocimientos. Para este fin, trabajó incansablemente en los últimos años; con avaricia de servicio a los demás; con prisa de que éstos no pudiesen utilizar y disfrutar de lo que se pudiera desprender de sus investigaciones; de sus «secretos», según el léxico mezquino de los pseudocientíficos o mercaderes de la verdad. No participó en la satisfacción humana de ver finalizada la labor de divulgación. Los más íntimos discípulos y allegados se ocuparon del aspecto material de esta difusión. Hoy su obra, póstuma en su mayor parte, es sobradamente conocida, más que íntegramente aprovechada. Esta se encuentra depurada y matizada por esos cincuenta años amplios, transcurridos sin que haya perdido vigencia lo sustancial de sus originales ideas científicas.

La bibliografía de este autor es reducida, pero densa. Su dedicación geológica fue profundamente teórica para poder ser, después, efectivamente práctica. Resulta un ade-

lantado en la aceptación del rigorismo científico geológico que ha de preceder, acompañar y vitalizar toda la labor minera.

Su obra teórica es eminentemente regional, pero también universal, ya que aportó a la ciencia geológica mundial los datos de conjunto más actuales, los cuales permiten integrar esta región en la historia geológica europea y terráquea.

Los aspectos fundamentales de esta contribución científica se relacionan con las partes especializadas de las ciencias de la tierra, denominadas Estratigrafía y Tectónica.

### a) Estratigrafía.

El aspecto más destacable de su obra se refiere al profundo estudio litoestratigráfico realizado sobre las unidades cronoestratigráficas Devoniana y Carbonífera.

Devoniano. El estudio de esta unidad es metódico y preciso. Aun es base de referencia sustancial e ineludible para todas las investigaciones recientes.

Carbonífero. La investigación realizada sobre esta interesante formación es lo más notable de su trabajo. La síntesis estratigráfica no está superada. Los cortes, definición de paquetes y capas, así como su trazado superficial, son defectuosos, en la medida en que la técnica realizó sus avances, pero insuperables para su tiempo. Imprescindibles actualmente —al no existir otros—, e insustituibles en el momento en que se quieran hacer avanzar estas investigaciones.

El Cámbrico, Siluriano, Mesozoico, Terciario y manifestaciones ígneas también fueron estudiados y delimitados superficialmente con notable perfección y valoración científica.

Esta labor litoestratigráfica regional en el ámbito cántabro-astúrico se encuentra plasmada en varios mapas geológicos. Estos son claros, sobrios y de una aleccionante perfección. Tales representaciones gráficas definen otra de las acusadas facetas de su personalidad de hombre de ciencia eminentemente claro y concreto.

### b) Tectónica.

El metódico estudio estratigráfico realizado, facilita las bases para realizar las primeras más concretas interpretaciones estructurales de la región. Como aportaciones científicas básicas en este sentido, son de destacar las siguientes:

- Los primeros cortes geológicos de carácter regional general.
- El primer croquis estructural de la parte esencial de la Cuenca Carbonífera Central de Asturias.
- El croquis tectónico de conjunto de la región cántabro-astúrica. Constituye la primera interpretación de una parte de la megestructura arqueada hercínica, conocida con el nombre de «cordillera astúrica».

El cúmulo de problemas geológicos estrictos que aborda, los cuales acabamos de destacar esquemáticamente, no definen más que una faceta de su personalidad. Este maestro hace la descripción geológica de Asturias más moderna que poseemos, pero, no obstante, el título que da a su obra es «Criaderos de hierro de Asturias». Rigorismo científico a su dedicación ingenieril. El mayor y mejor cúmulo de datos de la ciencia geológica del momento, en apoyo de una inversión y explotación minera. Todo ello plenamente actual. Auténticamente moderno. Nos atreveríamos a decir con cierto desenfado... muy de moda.

Los aspectos más destacables de su labor en esta, netamente actual, manera de profesar la ciencia, en torno a la problemática de los recursos mineros naturales, son las siguientes:

- Estudio de las relaciones geológicas existentes, entre los distintos indicios y yacimientos de hierro conocidos, entonces, en Asturias.

— Planeamiento, agotando los conocimientos geológicos de aquellos momentos, de los proyectos necesarios para el estudio de la prolongación del Carbonífero productivo por debajo del Mesozoico y Terciario.

— Compilación y estudio de las características litológicas de las distintas capas y paquetes de carbón, como introducción eficaz al problema de la correlación de capas a escala de las necesidades de la minería de explotación.

Estos aspectos eran, y siguen siendo, los fundamentales de la minería de Asturias. Descuidados después de sus esfuerzos, se nos manifiestan hoy con carácter bastante más agudo.

Adaro consideró que esta parte del solar hispano tenía posibilidades especiales para facilitar las materias siderúrgicas fundamentales, y trabajó intensamente por poner el máximo de la ciencia de la tierra al servicio de las explotaciones. Su empeño no fue vano porque logró ser, a la vez, lo que muy pocos consiguen: un gran geólogo e ingeniero.

Luchó denodadamente por desterrar los fáciles empirismos prácticos e intuitivos de la minería y consiguió, no ser muy tenido en cuenta y seguido en su tiempo, pero sí resultar un adelantado visionario de lo que es la moderna minería, en cuanto a prospección y bases científicas naturales de la explotación.

Reunidos aquí para rendir homenaje sencillo a dos Luis Adaro y Magro, recordemos su persona, consideremos su obra geológica, pero —sobre todo— tomemos conciencia —como el mejor de los tributos que le podemos ofrecer—, de nuestro deber de continuar en su espíritu. El consistente en desarrollar una labor profesional y educativa o formativa de futuros profesionales, en una minería más geológica y una geología más minera.

## LA INVESTIGACION MINERA EN EL PLAN DE DESARROLLO

por José Cantos-Figueroa, Subdirector del Instituto Geológico y Minero

### RESUMEN

La comunicación discute y aclara el valor y amplitud del concepto Investigación y sigue con la importancia de la misma para la economía nacional en sus tres formas: básica aplicada y de desarrollo. Da prioridad a estas dos últimas por ser más rápidamente rentables. Pasa a la investigación en la industria privada con preferente importancia, por ser muy rentable para ella. Es conveniente que el Estado la ayude con incentivos, desgravaciones fiscales y préstamos a fondo perdido en algunos casos.

Trata de la labor del IGME y da cifras de lo rentables que han sido sus trabajos para la economía española.

#### I. Valor y amplitud del concepto investigación.

No son pocas las veces que hemos oído la misma pregunta: ¿España es un país bastante rico para dedicar una parte importante de su renta a la investigación? Creemos que la contestación debería ser un nuevo interrogante para que puedan juzgar por sí mismos los que tengan base para hacerlo: ¿Es que España no investiga bastante porque es pobre, o es que es pobre como consecuencia de su pereza frente a la investigación? El que lo piense con calma deberá inclinarse por la segunda parte de la respuesta, y de la siguiente forma: España es más pobre de lo que debía ser, porque nunca ha dedicado lo que le correspondía en la investigación para estar al nivel de los países más desarrollados del mundo.

Conviene aclarar un poco la extensión del concepto investigación, especialmente en minería. Son muchos los que creen que investigar es solamente inventar o producir patentes, y claro que es algo más complejo.

Investigar es buscar con un programa o con un orden científico algo que se desconoce. Investigar es estudiar a través de lo conocido y sirviéndose de datos experimentales, aumentar la esfera de nuestros conocimientos. Investigar en nuestro caso es estudiar o interpretar la geología de una zona donde se desconoce todo; pero también es reestudiar lo conocido para deducir modificaciones y nuevos detalles estratigráficos, paleontológicos o tectónicos, en cuyo campo la investigación no tiene límites.

Sin embargo, no podemos negar que se duda de la buena aplicación de esa palabra en algunos casos, como, por ejemplo, en las investigaciones o prospecciones geológico-geofísicas aplicadas a la minería. Es justificada la duda, ya que en cualquier prospección geofísica existe una parte de aplicación rutinaria de un determinado método, a lo que podríamos dar el calificativo de mera prospección. Pero cuando tenemos que estudiar los programas de realización y sobre todo cuando llegamos a la interpretación de los resultados, nos enfrentamos con los problemas de la sensibilidad y la precisión de los apartados empleados en cada caso y con los de exactitud de los valores corregidos de los numerosos agentes externos que afectan desfavorablemente a nuestras mediciones, y a continuación con las diversas interpretaciones que caben para un mismo mapa o perfil geofísico. Si no estudiamos adecuadamente sus resultados de acuerdo con deducciones estratigráficas y tectónicas, y mejor aún, de acuerdo con otros métodos complementarios geofísicos o geoquímicos, no conseguiremos nuestros propósitos.

En resumen, que para llegar a interpretaciones de cierta garantía hemos de estudiar mucho sobre los gráficos, perfiles y mapas geofísicos obtenidos y con espíritu altamente científico; y cuando de acuerdo con esos estudios hemos perforado ya un primer sondeo estructural o de investigación, porque tal denominación se le debe dar donde nunca tendremos la seguridad de lo que vamos a encontrar en él, es corriente el que los testigos obtenidos nos obliguen a reinterpretar todos los ya mencionados gráficos y mapas, de acuerdo con los nuevos datos estratigráficos.

También diremos que cada año avanzan más las técnicas geofísicas, y que la mayoría de los descubrimientos e inventos de nuevos sistemas se deben principalmente a las grandes compañías de prospección geológico-geofísicas, porque son las que tienen siempre a su disposición cantidades enormes de información geofísica donde aplicar sus investigaciones, que se han vuelto ya obligadas si no quieren quedarse atrás con relación a los demás; y quedarse atrás en geofísica significa desaparecer.

#### II. Importancia económica de la investigación.

Aclarados un poco estos términos, pasemos al problema frente al Plan de Desarrollo. La Comisión correspondiente propone un aumento progresivo de la investigación total, básica, aplicada y de desarrollo tecnológico, que deberá pasar escalonadamente antes de 1975 del gasto actual equivalente al 0,2 por 100 del Producto Nacional Bruto, que en 1966 ha sido estimado en cerca de 1.400.000 millones de pesetas, al 1 por 100 de la Renta de 1975 que, naturalmente, será mucho mayor, y se calcula superior a 2.300.000 millones. Por lo tanto, el gasto total de investigación pasará de 2.800 millones en 1966 a 23.000 millones en 1975, o sea, 8,4 veces mayor. En 1971, final del II Plan, se calcula en más de cuatro veces el de 1966.

Comparemos con datos de otros países tomados de 1963, aunque algunos como Francia han seguido en aumento:

U. S. A. ....	3	%	de la R. N. B.
Inglaterra .....	2,2	%	» » » »
Francia .....	1,6	%	» » » »
España .....	0,2	%	» » » »

En cuanto al número de investigadores sólo diremos que de los últimos datos de que disponemos resulta que, mientras los EE. UU. tienen 131 investigadores por cada 100.000 habitantes, Inglaterra tiene 71, Francia 41 y España solamente 7 por esos mismos habitantes.

Comprenderemos que si bien el incrementar nuestra investigación en esa proporción significa un gran esfuerzo, lo es por habernos quedado demasiado atrás, pero necesario si pretendemos ponernos al día al nivel que nos corresponde en el mundo.

Que la investigación es enormemente rentable, sobre todo la aplicada, lo demuestran todas las estadísticas internacionales.

La Comisión de Investigación del Plan de Desarrollo se ha basado para sus estudios en tres documentos: uno muy completo de la Comisión que actuó en el I Plan de Desarrollo; otro es el estudio realizado por la OCDE, en colaboración con nuestros técnicos, llamado «Estudio de las necesidades de la Investigación Científica y Técnica en relación con el Desarrollo Económico», que refleja la situación en 1964; por último, en cuestionarios enviados a los Centros de Investigación y a determinadas industrias.

Todo ello ha conducido a la necesidad ineludible de elevar considerablemente los gastos totales de investigación a la magnitud citada.

### III. La investigación en el sector privado.

La investigación en el sector privado es mucho más baja que la del sector estatal, aproximadamente la quinta parte, pero se pretende mantener la misma proporción al final del Plan, lo que quiere decir que el gasto del sector privado tendrá que multiplicar por cuatro sus gastos de investigación en esos cuatro años.

Lo que no debe dar lugar a dudas es que la investigación en la industria privada debe ser rentable si se aplica adecuadamente y en la proporción que le pueda corresponder a cada empresa según su potencial económico.

El Estado tiene el deber de promover esta investigación con toda clase de incentivos, entre ellos una Ley de Desgravaciones Fiscales a las Sociedades que investiguen y que está en las propuestas del nuevo Plan. Sería importante producir una mayor colaboración a través de los Centros de investigación, pues, en parte es culpa de nuestro retraso una falta de información mutua de problemas y resultados, lo que se traduce en que la mayor parte de las industrias no sienten todavía la necesidad de la investigación ni su alcance económico.

Este programa de promoverla en unos casos, cuando la importancia de la industria o sociedad lo permitan y aumentarlos en otros, se podría hacer por etapas: la primera debería ser, la de promover solamente asesores técnicos de investigación. La segunda, que estos asesores formasen su pequeño equipo de investigación, y la última que se constituyesen en verdaderos laboratorios u organismos investigadores.

Esto, que no dudamos chocará a muchos, debe ser explicado someramente:

En primer lugar entra de lleno en el II Plan, por tanto lo único que cabe discutir es la forma de adaptarlo. Además, en todos los países de industria próspera existe hace

mucho tiempo, y es ya casi indiscutible, que su industria es próspera por que invierten pensando siempre en el futuro inmediato o lejano. Demos cuenta de algún ejemplo alocacionador. Hace catorce o quince años visitamos en Estados Unidos una gran fábrica de instrumentos electrónicos, de la Texas Instruments, en parte aparatos geofísicos. Se habló de la asesoría técnica que dependía directamente de la Dirección y que tenía solamente una misión investigadora de todos los problemas que se pudiesen presentar a la plantilla técnica ejecutiva de la Sociedad. Pero tal asesoría resultó ser un gran pabellón independiente con 200 técnicos investigadores. Hasta aquí podríamos pensar que aquello era un lujo que no todos podían permitirse, y en efecto, puede ser así con esas dimensiones; pero el resultado económico en aquel caso fue que entonces las acciones de la Sociedad estaban en Bolsa a 15 dólares y que actualmente están a más de 200 dólares.

Otro caso más importante es de la Gulf Oil, cuyos laboratorios de investigación centralizados en Pittsburgh y mantenidos por esa Sociedad, consumían entonces un presupuesto anual de 12 millones de dólares y tenían más de 1.200 técnicos investigadores, y hoy tienen muchos más. Sin duda no lo hacen por romanticismo.

Citemos ahora el caso contrario, que es precisamente lo que no hay que hacer: hace también bastantes años, más de diez, tuvimos ocasión de discutir con la Dirección de una Sociedad minera cuyo nombre omitiremos. Nuestra propuesta era el que debían dedicar una cantidad, que era muy discreta para su potencia económica, a la investigación de nuestros criaderos de hierro. No les pareció prudente pensar en el porvenir cuando el presente era tan bueno; o es que le parecieron un lujo las inversiones en investigación; quizás una total falta de ambiente y de estímulo para ello se lo impidieron. El hecho es que hoy la situación económica de esa Sociedad es muy inferior a la que tenían en aquella fecha, y que mientras tanto se han descubierto nuevos yacimientos más o menos buenos, pero por otros.

Los principales descubrimientos como lección para los que no lo hicieron, los ha hecho recientemente el Instituto Geológico y Mineo, que con una labor de investigación aplicada, complementando estudios geológicos y geofísicos, han descubierto en el SO. de España más de 300 millones de Tm de mineral de hierro magnético de buena calidad. Por tanto, el no investigar, pudiendo hacerlo, fue un grave error económico. Y esta historia legítima se podría aplicar desgraciadamente a centenares de casos.

En muchos países, el avance de su industria no se debe a su propia innovación tecnológica, sino a haber sabido observar y mejorar con su investigación las patentes y técnicas de otros países más desarrollados. Este es el caso del nuestro, que durante la próxima etapa parece más discreto que dedique su mayor esfuerzo a estudiar, asimilar y adaptar a nuestros problemas las técnicas existentes, de cuya actividad nacerá la verdadera investigación propia.

A veces nos preocupa lo que pagamos en «royalties», pero nos debiera preocupar mucho más lo que desaprovechamos de ellos, por no estudiar e investigar bastante a elegirlos y adaptarlos a nuestras condiciones especiales.

La consigna general del Plan es dar la mayor importancia y, por tanto, prioridad a las inversiones, cuya repercusión en nuestra Economía sea el aumentar la Renta Nacional en el plazo más corto posible. En resumen, el desarrollar los planes de rentabilidad más inmediata.

Al hablar de investigación pudiera parecer que la rentabilidad sólo puede producirse a largo plazo. Por eso conviene analizarla en sus distintos aspectos.

En efecto, la investigación básica tendrá un proceso relativamente lento en nuestro país, puesto que la primera etapa debe ser la formación de personal investigador, hoy muy insuficiente. Este se formará parcialmente en las Cátedras, pero también en los Centros de Investigación, como son el Instituto Geológico y Mineo de España, el Instituto de Hidrología,

el Instituto «Lucas Mallada», la Junta de Energía Nuclear y la Empresa Nacional Adaro, entre otros dedicados a Geología y Minería.

#### IV. *La investigación en el Instituto Geológico y Minero.*

Como hemos dicho, habremos de dar la prioridad a otro tipo de investigación de efectos rentables más rápidos, como son la aplicada y la de desarrollo tecnológico. Ambas caen de pleno en un centro del tipo del Instituto Geológico y Minero de España, del que hablaremos especialmente como ejemplo.

Analicemos sus distintos Departamentos:

*Departamento de Geología:* Realiza una gran labor de investigación básica y aplicada con el estudio y confección de los diferentes mapas geológicos y metalogénicos con todo lo que traen consigo los estudio estratigráficos, paleontológicos y tectónicos.

*Departamento de Geofísica:* Aunque tiene una pequeña pero obligada parte de prospección rutinaria, se quedarían muy atrás con la relación a la Geofísica mundial si no introdujesen en sus trabajos una gran proporción de investigación aplicada e inclusive básica. Para entenderlo mejor diremos, que hay algo en sus campos de actividad que no se tiene bastante en cuenta porque se desconoce.

En una prospección geofísica es necesario la continua investigación, sin la cual no sabremos ni en qué lugar nos encontramos en cuanto a la precisión de nuestras mediciones o en cuanto a la necesidad de mejorarlas para poder aplicar nuevos métodos de interpretación. Ejemplo en los mapas gravimétricos es el cálculo de segundas derivadas, proyección del campo gravífico en profundidad y estudio y eliminación del llamado «ruido» en cualquier método, que es el efecto de las anomalías nocivas que produce el propio terreno.

Esto no quiere decir que el investigador deba estar inventando nuevos aparatos y técnicas, pero sí conviene llamar la atención de que gracias a él en los últimos años se han producido grandes avances en las técnicas de los métodos sísmico, eléctrico y gravimétrico. Todos éstos no se habrían producido partiendo solamente de experimentos de laboratorio; ha salido del estudio continuo de los resultados de cientos de miles de estaciones o de mediciones, de cuya comparación se han ido deduciendo consecuencias tan útiles como las siguientes:

En pocos años se ha pasado en el método sísmico de unos sísmogramas que había que estudiar de uno en uno y sobre el que ya no podíamos volver, sino por su repetición completa en el campo, a otros nuevos sobre cinta magnética que se pueden reestudiar con distintos filtrados con la misma eficacia que obtendríamos volviendo al terreno con repetición de sondeo y explosión.

De ahí pasamos a los perfiles sísmicos de gran extensión, después de las correcciones estáticas y dinámicas de cada sísmograma, y por último al registro digital basado en traducir estos sísmogramas magnéticos en programas numéricos para su cálculo por computadores electrónicos y filtrados especiales de «ruidos» y reflexiones múltiples entre otros, hasta obtener perfiles sísmicos de extraordinaria perfección.

Estos nuevos métodos de cálculo, nos abren a su vez horizontes de incalculable valor para el investigador, si tiene alicientes y estímulo para ello, y que parcialmente suele ser el mismo técnico que hace la labor de prospección, que tiene muy poco de rutinaria. Dicho esto, añadiremos que uno de los trabajos de este Departamento durante el año 1966 ha sido la colaboración con el de Investigaciones Mineras y, como resultado final, el descubrimiento citado de unos 300 millones de toneladas métricas de mineral de hierro.

También ha descubierto recientemente grandes masas de sal común y colaborado con descubrimientos importantes del Departamento de Aguas Subterráneas.

*Departamento de Aguas Subterráneas:* Su labor principal puede considerarse como de investigación aplicada, aunque en nuestra investigación hidrológica de la cuenca del Guadal-

quivir se llega a estudios complejísimo, como son los de permanencia del agua en las formaciones o su velocidad de circulación, deducido de su contenido y pérdida de actividad del tritio caído con la lluvia, aspectos que se pueden considerar de verdadera investigación científica. Mientras tanto, se han realizado planes provinciales como el hidrológico de Murcia, por ejemplo. La labor de investigación fue de poco más de un año; se consumieron entre investigación y sondeos 20 millones, y el agua alumbrada, tasada por bajo, tiene un valor de más de 200 millones de pesetas.

Trabajos de investigación aplicada muy rentables, realizados por el Departamento de Aguas Subterráneas en colaboración con el de Geofísica, han sido los del Plan Madrid, con descubrimiento de una cuenca subterránea artesiana de agua de muy buena calidad con capacidad de aprovechamiento para 8 ó 10.000 l/s.

Otro descubrimiento de mucho interés ha sido el de la cuenca artesiana de León donde ya hace muchos años hizo el IGME los primeros estudios por métodos geofísicos.

*Departamento de Investigaciones Mineras:* Es la más típica como investigación aplicada y trabaja en colaboración obligada con el Departamento de Geofísica y también con el Laboratorio de Tratamiento de Minerales. En lo futuro colaborará activamente con él la Sección de Geoquímica. Su labor principal en cuanto a resultados económicos ha culminado en el citado descubrimiento de grandes masas de minerales de hierro y prosigue sus investigaciones de minerales de plomo, de cobre, de mercurio y de hidrocarburos.

*Departamento de Concentración de Minerales:* Relacionado con el Departamento anterior está el tratamiento de minerales. Problema ya viejo de investigación es el de los minerales fosforosos del NO. de España, que son devaluados y hasta rechazados por su contenido en fósforo y de los que disponemos de gran cubicación. Este se puede considerar como un problema de investigación de desarrollo y en él está empeñado el Instituto Geológico. Sus estudios realizados hasta la fecha nos conducen a la idea de tratarlos por sulfúrico, cuyo proceso es relativamente caro. Pero recuperando no solamente el sulfúrico, sino el fósforo contenido, posiblemente en forma de abono de gran valor para la agricultura, tendremos ya muchas probabilidades de poder cubrir una importante parte de los gastos de tratamiento. La última etapa de este ciclo de investigación está planteada en un futuro inmediato con el montaje de una planta piloto para tratamiento de minerales de hierro fosforoso.

*Geoquímica:* Se encuentra, como hemos dicho, en su estado de formación de personal y de experimentación e investigación básica y aplicada nuestra Sección de Geoquímica.

Probablemente dependerá del Departamento de Investigaciones Mineras, aunque igual pudiera depender del de Geofísica, puesto que ambos hacen labores complementarias y en la mayor parte de los tratados de Geofísica del mundo aparece la Geoquímica como un capítulo más.

Se pretende con ello dedicar gran parte de su actividad a la investigación de hidrocarburos, plomo, cobre y mercurio. Todos esos trabajos son muy complejos y llevan consigo una verdadera labor de investigación aplicada, que se realiza en los laboratorios del mismo Instituto.

#### V. *Conclusiones.*

1.º Es necesario promover y estimular al máximo la investigación aplicada, especialmente en las industrias privadas mineras y metalúrgicas, porque será rentable para ellas. El primer paso para conseguirlo será el de crear en estas industrias un clima adecuado que les incline a tener asesores de investigación que faciliten su contacto con los centros de investigación, tanto nacionales como extranjeros, además de orientarles en cuanto a las posibilidades de ampliar y mejorar sus campos de acción y sus rendimientos de producción.

2.º El Estado debe cuadruplicar sus gastos anuales de investigación durante el II Plan



de Desarrollo, pero sus incrementos de inversión deben ir especialmente dirigidos a la Investigación Aplicada y de Desarrollo Tecnológico, por producir más beneficios a la Economía nacional y con mayor rapidez.

3.º Para estimular la investigación en la industria privada, el proyecto del II Plan ofrece importantes incentivos y degravaciones fiscales. Sería de gran interés que en la investigación de hidrocarburos llevada por Compañías españolas, tanto en España como fuera de su territorio, hiciese un sacrificio mayor en forma de préstamos especiales, en parte a fondo perdido, porque seguramente que esta nueva política no tardaría en ser rentable para el Estado; sin duda más que para las propias Compañías.

Debemos llamar la atención de que el Estado alemán presta a la investigación privada del petróleo hasta el 80 por 100 a fondo perdido. La investigación incluye hasta el sondeo exploratorio o «wild cat».

4.º Al Instituto Geológico y Minero, como principal Organismo del Estado en la Investigación Geológica, Minera y de Aguas Subterráneas, se le debe incrementar su Presupuesto durante el II Plan en la misma proporción citada de 4 a 1, partiendo del año 1966.

La tasa de crecimiento de la investigación es muy difícil de juzgar y no debe limitarse por su comparación con otros sectores, ya que en algunos casos no es fácil cumplir el programa teórico y en otros se puede cumplir con poco sacrificio. Es el caso en concreto del IGME, que como Centro de investigación con ciento dieciocho años de existencia, tiene una experiencia y una base para promover y realizar nuevos planes, que le han permitido invertir en el año 1966 la cifra de 156 millones, siendo el incremento registrado del 363 por 100 con relación a los gastos de 1964 y del 173 por 100 con relación a los de 1965.

No se puede decir que se haya realizado el gasto sin provecho, ya que, solamente entre minerales de hierro y niveles de agua artesiana descubiertos, podemos decir sin exagerar, que la riqueza aportada a la economía nacional ha sido muy superior a los 10.000 millones de pesetas, en año y medio de trabajo.

Pretendemos que sin salirnos de las consignas del II Plan de ir lo más rápidamente que se pueda, a dedicar el 1 por 100 del P. N. B. a investigación en total, el IGME pase del gasto de 156 millones en 1966 a 650 millones por lo menos en 1971, programa fácilmente realizable y seguramente de gran rentabilidad.

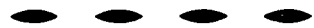
## INDICE

	PÁGS.
Reflexiones sobre la industria siderúrgica integral, por FÉLIX ARANGUREN ... ..	7
Suministro de mineral de hierro a la industria siderúrgica española, por JOSÉ MARÍA LUCÍA LUCÍA ... ..	23
La investigación minera de magnetitas y los sondeos comprobatorios realizados en el Suroeste de España, por JORGE DOETSCH ... ..	41
Nuevas áreas devonianas en la zona occidental de Sierra Morena, por FERNANDO VÁZQUEZ GUZMÁN ... ..	107
Ideas directrices geológico-tectónicas de la Hoja 918, Santa Olalla del Cala, por FERNANDO VÁZQUEZ GUZMÁN ... ..	113
Contribución al estudio de la tectónica del Cambriano de Cala (Huelva), por FERNANDO VÁZQUEZ GUZMÁN ... ..	119
El análisis microscópico en problemas de concentración mineral: Su aplicación en el caso de las pirrotinas de Fornás (Santiago de Compostela), por TIRSO FEBREL. Características hidrogeológicas de Asturias, por J. A. MARTÍNEZ ALVAREZ, M. TORRES ALONSO y V. VILLANUEVA ... ..	129
Elementos para el conocimiento geológico del Carbonífero del Norte de España, por J. A. MARTÍNEZ ALVAREZ y M. TORRES ALONSO ... ..	147
El proceso de recarbonización y su aplicación a la investigación de hidrocarburos gaseosos en una zona de Asturias, por E. DUPUY DE LÔME, J. E. COMA, C. FELGUEROSO y A. RODRÍGUEZ PARADINAS ... ..	155
Contribución de la Micropaleontología al conocimiento de los yacimientos de hierro de Bilbao, por ENRICO PERCONIG ... ..	161
Origen de algunas mineralizaciones de fluorita y galena de la Sierra de Gádor, en relación con la singénesis y la epigénesis, por J. SIERRA LÓPEZ, A. ORTIZ RAMOS y J. BURKHALTER ANEL ... ..	181
Geotecnia.—Mapas geotécnicos, por MARIANO-RICARDO ECHEVARRÍA CABALLERO ...	289
Estudio de concentración de los minerales de hierro del Suroeste de España.—«Zona de Cala», por JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ BECERRIL ... ..	309
Investigación de hierros en el SO. de España, por F. ESTEBAN SANTISTEBAN ... ..	341
La mecánica de rocas en las rozas a cielo abierto y su aplicación en Riotinto, por G. MONCADA ARAGONÉS y F. OJEDA AMADOR ... ..	355
Ensayo de mecanización en potasa en la cuenca del Llobregat, por CARLOS MARTÍ NARBONA ... ..	359
Movimientos del terreno sobre los tajos largos del Pozo de Guendulain, por PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ... ..	395
Noticias ... ..	411
	427

INSTITUTO

GEOLOGICO

y MINERO



Ríos Rosas, 23

Teléfono 253 46 05

MADRID - 3