

ESTIMACION DEL POTENCIAL DE ALABASTRO
EN EL VALLE DEL EBRO

Informe-Memoria

11258

I. T. G. E.

ESTIMACION DEL POTENCIAL DE ALABASTRO
EN EL VALLE DEL EBRO

DICIEMBRE 1.990

11258

En este Proyecto de Investigación han intervenido los siguientes técnicos, encuadrados en la Dirección de Recursos Minerales (Sección de Rocas y Minerales Industriales) del ITGE :

DIRECCION Y SUPERVISION

D. Gregorio Gómez Moreno

LABOR DE CAMPO Y ELABORACION DE LA MEMORIA

D. Luis Antonio Díaz Rodríguez

SONDEOS Y COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

D. Vicente Calderón Almena

D. Luis Antonio Díaz Rodríguez

Siempre con el apoyo complementario del personal técnico de los laboratorios del ITGE y el personal de sondeos del mismo Organismo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, nuestro agradecimiento al Dr. D. Juan Mandado Collado (Prof. titular del Dpto. de Petrología de la Facultad de Geología de la Universidad de Zaragoza) por las facilidades obtenidas en la consulta de su Tesis Doctoral y por los comentarios efectuados sobre aspectos de la misma. También el Dr. D. Angel González, del Dpto. de Estratigrafía de la misma Facultad, que permitió consultar la parte concerniente a la estratigrafía, dentro de su Tesis Doctoral, del área de estudio.

Gracias a los doctores Firman y Young (Universidad de Nottingham, Inglaterra) por sus informaciones y comentarios del alabastro inglés.

A D. Alfonso López, propietario de la empresa ARMINSA en

Cinco Olivas (Zaragoza), por las facilidades obtenidas para fotografiar la exposición de alabastro que se encuentra en dicho pueblo. También al personal de Alabastros ALJUNA S.L. (Cintruénigo, Navarra) por las fotografías que se obtuvieron en su planta de elaboración.

Agradecemos también a todos los canteros de la zona investigada (HERNA, NALSA y SOC.ARAG.ALABASTRO) las atenciones recibidas.

Por último, se agradece a D. Miguel Angel Vera (NALSA) todo el aporte de información complementaria acerca del alabastro italiano, que ha contribuido a enriquecer esta memoria, así como sus comentarios siempre apasionados sobre el tema y no exentos, en parte, de razón una vez que se conoce a este bello y noble mineral industrial que es el alabastro.

SUMARIO

I.- INTRODUCCION	1
II.- ALABASTRO:	
II.1.- Definición	3
II.2.- Antecedentes históricos en el uso del alabastro	12
II.3.- Usos en la actualidad	41
II.4.- Yacimientos en el mundo	46
III.- OBJETIVOS Y METODOLOGIA DE TRABAJO	54
IV.- MARCO GEOGRAFICO Y MORFOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO ...	56
V.- GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO:	
V.1.- Estratigrafía	59
V.2.- Tectónica	73
VI.- SONDEOS Y COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS:	75
VI.1.- Correlaciones y guías de la mine- ralización	103
VII.- PETROLOGIA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEL AREA DE ESTUDIO	111
VIII.- PETROLOGIA DE LOS MATERIALES SULFATADOS DEL AREA DE ESTUDIO	118
IX.- DESCRIPCION DE LOS YACIMIENTOS Y DATOS DE PRODUC- CION	133
X.- MORFOLOGIA DE LOS CUERPOS MINERALES DE ALABASTRO	142
XI.- ANALISIS GRANULOMETRICO, MINERALOGICO Y QUIMICO DE LAS ROCAS ARCILLOSAS	146
XII.- CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS DE LOS NIVELES DE ALA BASTRO	159
XIII.- HIPOTESIS GENETICAS DEL MEDIO SEDIMENTARIO DE LOS YACIMIENTOS	164
XIV.- POSIBILIDADES Y PERSPECTIVAS DEL AREA. ESTIMACION DE LOS RECURSOS	172
XV.- CONCLUSIONES	179
XVI.- BIBLIOGRAFIA	183
XVII.- ANEXO PLANOS	

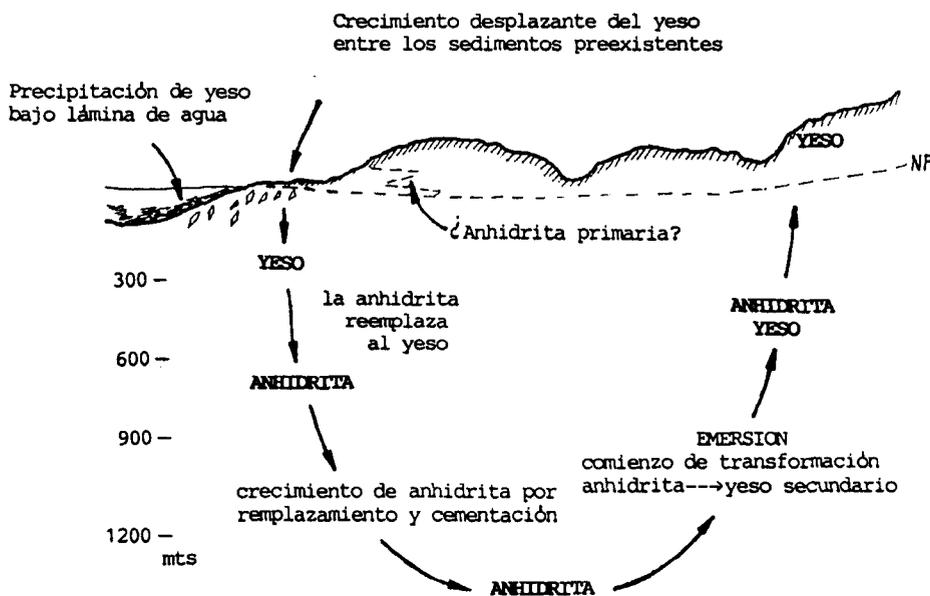
I.- INTRODUCCION

I.- INTRODUCCION

La mineralogía de los depósitos evaporíticos de tipo sulfato ^(*) que se dan en la naturaleza es la siguiente:

- * Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) , monoclinico
- * Bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), pseudo-hexagonal
- * Anhidrita (CaSO_4) , romboédrico

Geológicamente se ha constatado por diversos autores la existencia de un ciclo de transformación progresivo yeso-anhidrita-yeso según el cual, el yeso es el mineral sulfatado predominante en condiciones superficiales que, al sufrir una prolongada subsidencia y enterramiento, por otros sedimentos aportados a la cuenca, se transforma en anhidrita (temperatura de transición aproximada 42°C ó 800-1000 m de profundidad). En sucesivos estadios geológicos, la tectónica o bien la erosión pueden hacer aflorar a la superficie a la anhidrita que dará paso a una nueva transformación a yeso, facilitado el proceso por la circulación de aguas meteóricas subterráneas. La bassanita es una fase mineral intermedia y metaestable entre las dos fases minerales extremas. En la Figura 1 se puede observar gráficamente el ciclo anteriormente descrito, según Murray (1964).



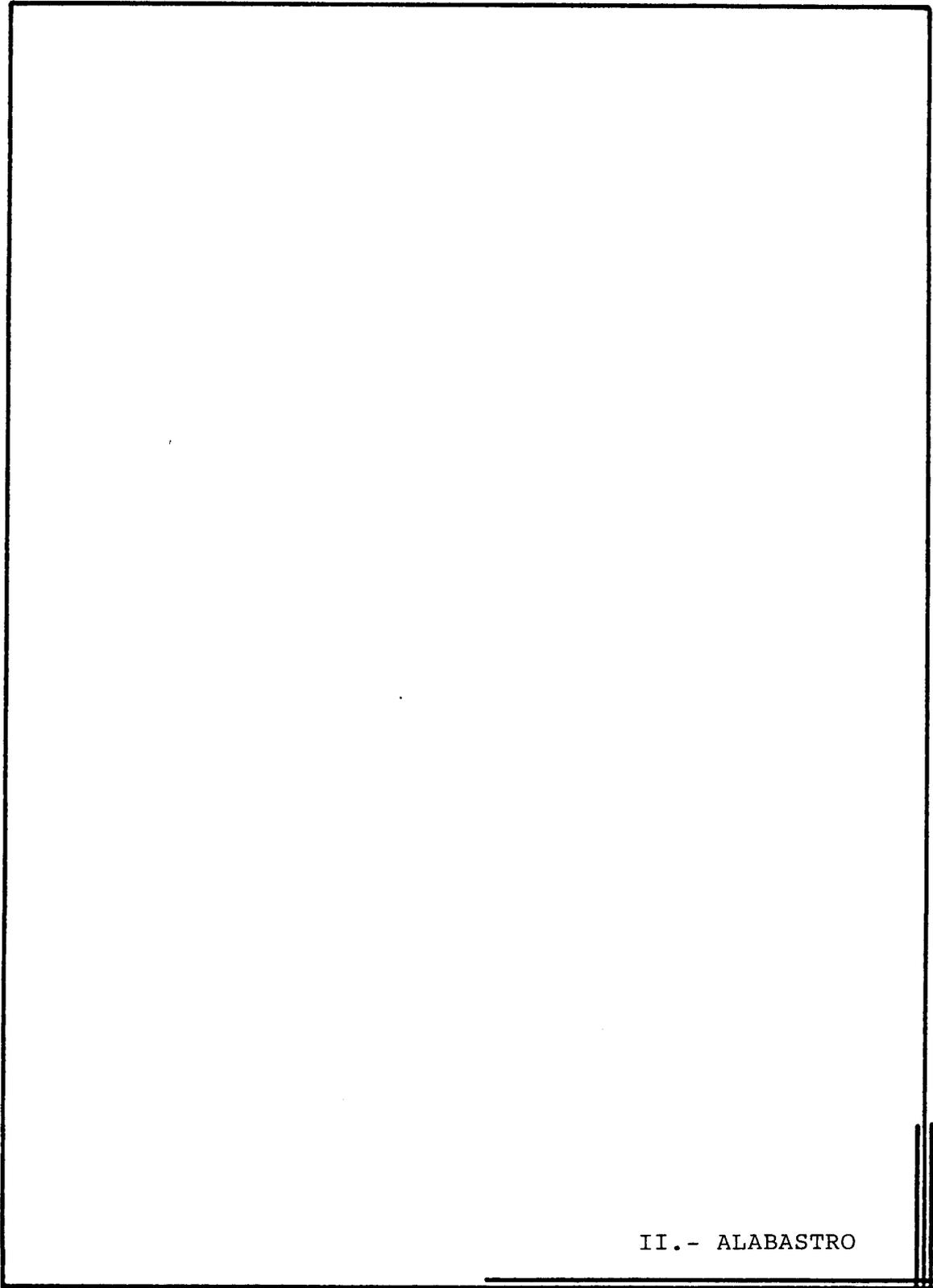
(*) Cation Ca^{2+}

Fig.1

Haciendo referencia a la Comunidad Autónoma de Aragón, hay que decir que en su subsuelo existen importantes y potentes depósitos evaporíticos y sobre todo que los principales yacimientos de alabastro existentes en España, susceptibles de ser explotados y que lo son actualmente, se encuentran en dicha Comunidad y fundamentalmente dentro del área de estudio de este Proyecto, que abarca un entorno aproximado de unas 26.000 Ha a unos 60 Km al SE de Zaragoza.

Como hecho curioso cabe decir que más del 80% de la facturación global del sector del alabastro, que exporta también la materia prima en bruto a otros países (Italia preferentemente), se localiza en Cintruénigo, pueblo situado a unos 100 Km al sur de Pamplona y a unos 80 Km de los lugares de extracción. En dicha localidad se ubican 29 empresas que emplean a un total de 550 trabajadores, según los datos tomados del volumen del 2º trimestre de 1990 de la revista ROC MAQUINA .

Para la realización de esta investigación se han tenido en cuenta los antecedentes bibliográficos existentes acerca de la zona, tanto los referentes a la estratigrafía de los sedimentos como a los trabajos más específicos del alabastro y minerales afines, siendo los estudios más significativos los realizados por el ITGE (1985), Mandado (1987), ITGE (1988) y González (1989).



II.- ALABASTRO

II.- ALABASTRO

II.1.- Definición

El alabastro es uno de los pocos minerales industriales de la naturaleza que goza del calificativo de ornamental, y que además va unido a su escasa rareza de concentrarse en acumulaciones susceptibles de ser explotadas.

El título de este Proyecto hace mención a la investigación de alabastro en Aragón y no de alabastros en plural, dado que en dicha Comunidad Autónoma la explotación industrial del mineral recae solamente en el denominado en la bibliografía como "alabastro yesoso".

Desde muy antiguo existe una doble nomenclatura que, con el nombre de alabastro, califica a dos minerales industriales totalmente diferentes: la calcita y el yeso; lo que ha contribuido a crear un halo de confusión terminológica, a lo largo de la Historia, y que hoy en día es preciso seguir aclarando, para no despistar al posible comprador del producto o al profano interesado por el tema.

Los alabastros, en el sentido plural de la palabra, como muy bien señala Motinot (1980), que se conocen en la naturaleza son: el alabastro calcáreo y el alabastro yesoso, cuyas composiciones químico-mineralógicas y propiedades físicas son totalmente distintas.

El alabastro calcáreo está constituido fundamentalmente por calcita (CaCO_3) y se presenta en masas fibrosas, translúcidas, formadas por capas de crecimiento paralelas o concéntricas. Su densidad media es de 2,70 gr/c.c., mientras que su dureza ronda el valor 3 en la escala de Mohs. Suele encontrarse en grutas o cavernas. (Fig. 1 bis).



Fig. 1 bis.- Muestra de alabastro calcáreo mostrando el clásico crecimiento cristalino en bandas (textura cebrada)

El alabastro yesoso, o el concepto alabastro a secas que se entiende en esta investigación y que de ahora en adelante será al que hagamos mención, es una rara variedad de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) de origen secundario, generalmente de un mineral anhidrítico precursor, de ahí que pueda contener cantidades variables de anhidrita y bassanita, así como de otras impurezas (materia arcillosa principalmente). Su aspecto es compacto y está constituido por diminutos cristales de yeso ($<0,1$ mm) que por sus propiedades físicas (translucidez, densidad, dureza, color, etc.) le confieren unas peculiares características ornamentales y que son los motivos por los cuales se comercializa.

El término "yeso alabastrino", que no es sinónimo de alabastro, se aplica al yeso con una textura microscópica muy característica, es decir, la microcristalina, que la posee también el alabastro, pero no necesariamente las propiedades físicas de éste.

Según Firman (1984) muchos de los yesos alabastrinos descritos por Ogniben (1957), Holliday (1970) y Mossop y Shearman (1973), entre otros autores, o bien son escasamente translúcidos o bien son de baja calidad para ser tallados y pulidos.

Ante toda esta exposición general, es preciso reiterar de nuevo la clara distinción del tipo de mineral de alabastro con el que estamos actuando o bien ofertando, si de naturaleza calcítica o por el contrario yesífera. En nuestro caso, y para la zona de estudio, es obvio que se trata de yeso alabastro.

Por otro lado, como señala Firman (1984), la mera posesión de microtexturas alabastrinas en un yeso no --

implica la identificación de un mineral yesífero como alabastro.

En España, la Sociedad Navarra para el Desarrollo del Alabastro (SONADAL) comercializa el alabastro bajo dos denominaciones: una llamada Alabastro de Asia o Transparente, que compagina la translucidez semejante a un vidrio con la textura natural del mineral; y otra llamada Alabastro de Buñuelo, cuyos bolos poseen una morfología que recuerda a dichos productos de repostería y que presentan menos translucidez y un aspecto sacaroideo. Esta última denominación sería equivalente al término inglés "chicken wire" y también a la llamada textura "en turrón" de Mandado (1987)

En la Figura 2 (A y B) se pueden apreciar las dos variedades anteriormente expuestas, cuya comercialidad viene dada por su precio a pie de cantera, y así mientras el alabastro transparente se cotiza a unas 30 pta/Kg, la variedad buñuelo se vende a 10 pta/Kg .

Una vez dejado claro que el alabastro no es ni más ni menos que un mineral industrial ornamental constituido por diminutos agregados de yeso con unas propiedades físicas peculiares, y que lo definen como tal, se puede comentar, de manera complementaria, el significado que el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua manifiesta sobre el alabastro y que, como se ha indicado al comienzo de este apartado, puede contribuir al confusio-nismo del lector. El Diccionario dice textualmente:

"Alabastro" (del latín alabaster-tri y este del griego ἀλάβαστρος) ① Mármol translúcido, generalmente con visos de colores. ② Alabastro yesoso. ③ Vaso de alabastro sin asas en que se guardaban los perfumes. Oriental. El muy translúcido y susceptible de hermoso pulimento. Yesoso. Aljez compacto y transluciente. Se emplea en baldosas para habitaciones y, las variedades más puras, en objetos de adorno.

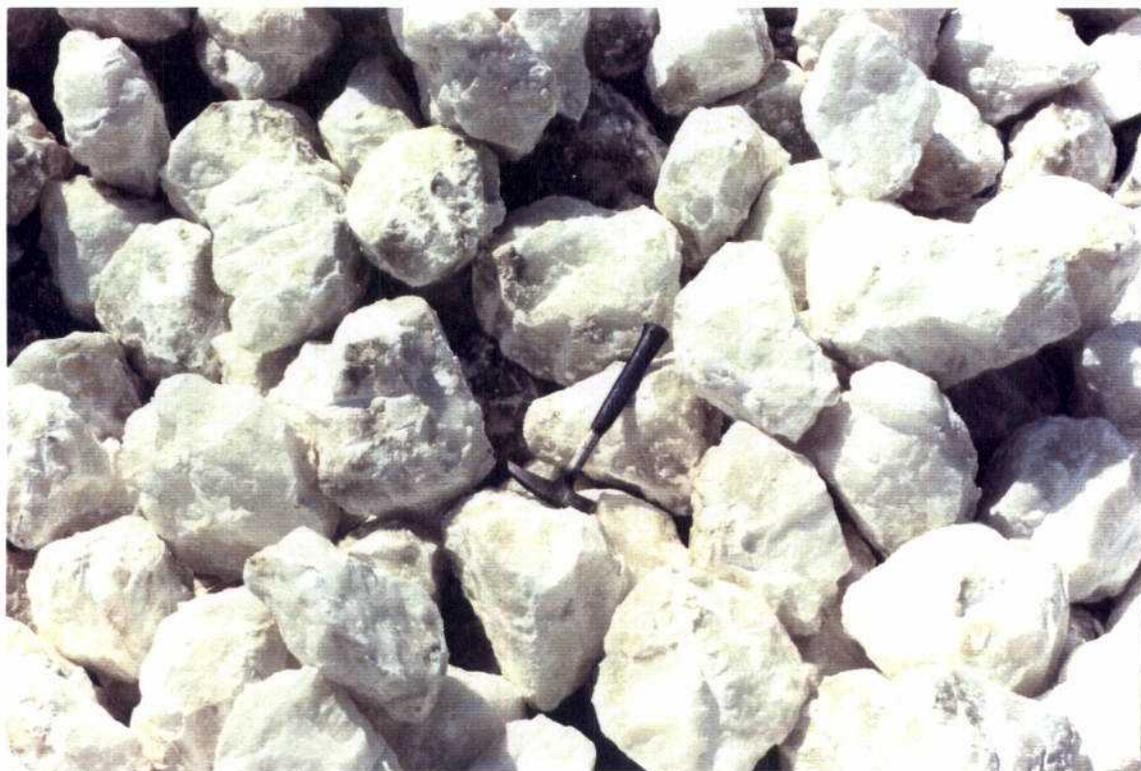


Fig.2A.- Aspecto de los bolos de la variedad de alabastro transparente una vez eliminadas las impurezas.



Fig.2B.- Meganódulo mostrando la variedad de alabastro de buñuelo.

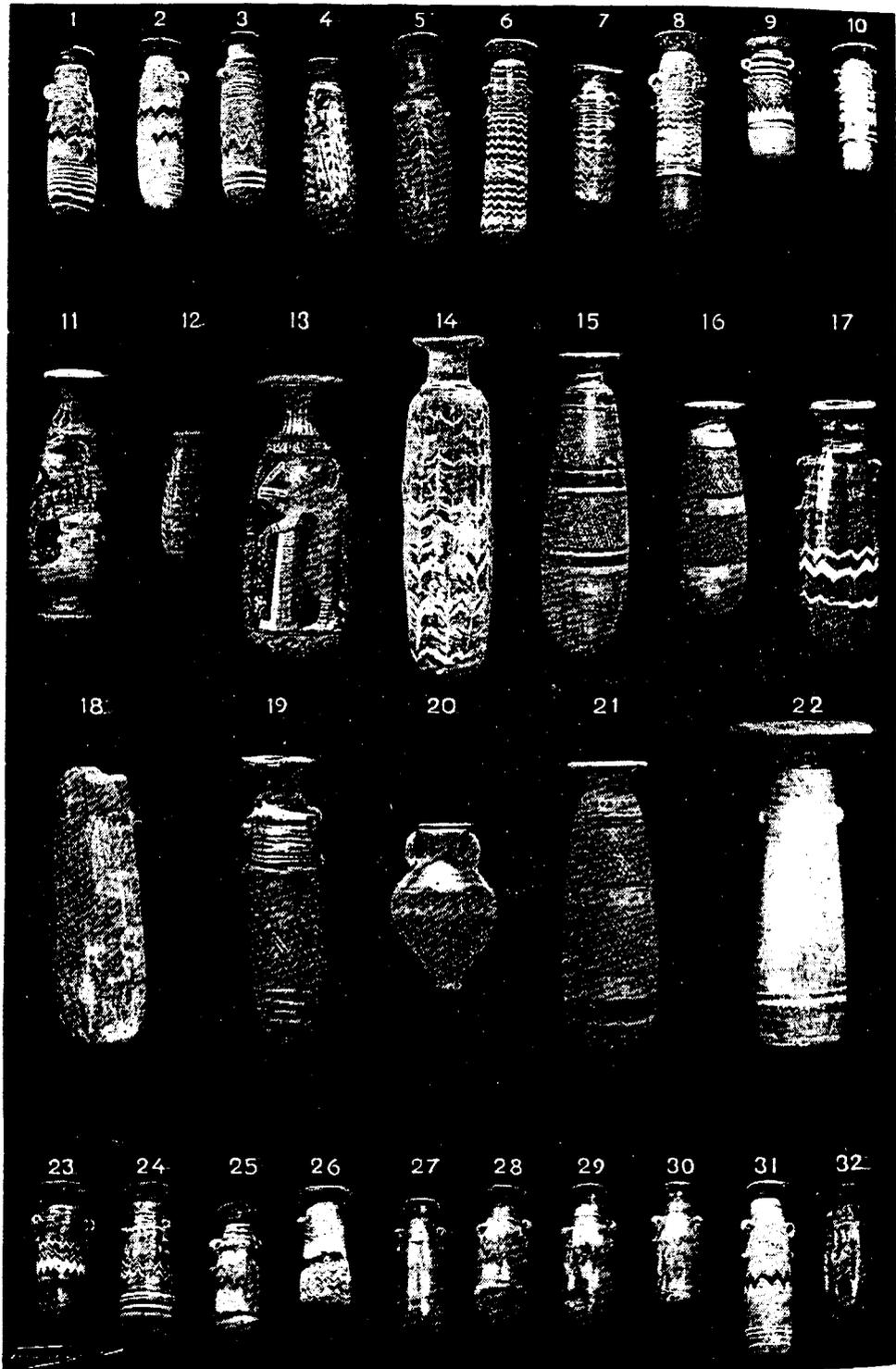
Como se ha podido comprobar, el término alabastro no queda lo suficientemente aclarado y así, por ejemplo, se emplean dos mineralogías diferentes, la calcita por un lado y el yeso por otro, para su descripción.

Esta doble nomenclatura mineralógica del alabastro así como los otros calificativos que se le aplican en el Diccionario pueden tener su explicación atendiendo a las referencias existentes en el Evangelio, dado que este mineral ornamental alcanzó unas altas cotas de prestigio en aquellos tiempos (Young, 1990).

Existen constantes referencias en las historias del Antiguo Testamento acerca de las vasijas de alabastro, conocidas en el argot arqueológico como alabastrones (Fig. 2C), que se empleaban para albergar los unguentos relacionados con las actividades lavatorias de aquellos tiempos. Comúnmente se creía que dicho mineral poseía la propiedad de conservarse frío, circunstancia que lo hacía muy estimado para contener perfumes y unguentos. Precisamente en la Biblia (San Marcos 14:3) se puede leer que Jesús fue ungido con unguentos encerrados en cajas o frascos de alabastro. El descubrimiento y el empleo de los perfumes suponen una importante aportación al bienestar humano y su empleo se extendió porque la unción era considerada saludable y porque, al no existir jabón, los baños y los masajes aromáticos eran el modo principal de cuidar el cuerpo.

Pequeñas botellas de alabastro, llamadas "lacrimatorios" y que portaban las planideras, eran, también, colocadas en las tumbas, que frecuentemente contenían sarcófagos labrados en alabastro, de procedencia egipcia u oriental.

Así pues, durante aquellas épocas el alabastro gozó de una gran popularidad en el ámbito escultórico funerario y en la elaboración de vasos y vasijas de todos los tipos (Fig. 2D y 2E).



1 a 10. Museo Provincial de Gerona. — 11. M. Británico. — 12. Cau Ferrat (Sitges, Barcelona). — 13. De Apulia (M. del Louvre). — 14. M. Británico. — 15 y 16. M. Municipal de Barcelona. — 17. Fenicio (M. Británico). — 18. M. Municipal de Barcelona. — 19. Antigua colección Alfara. — 20. Vajija de la misma fabricación y procedencia, en forma de Anfora. — 21. Antigua colección Alfara. — 22. M. Municipal de Barcelona. — 23 a 32. M. Provincial de Gerona.

Fig.2C.- Alabastrones diversos.



Fig.2D.- "Copa de la inmortalidad del Benefactor de Tebas", hecha en alabastro y procedente de los tesoros del rey Tutankhamon (Imperio Nuevo, XVIII dinastía). El Cairo, Museo Egipcio.

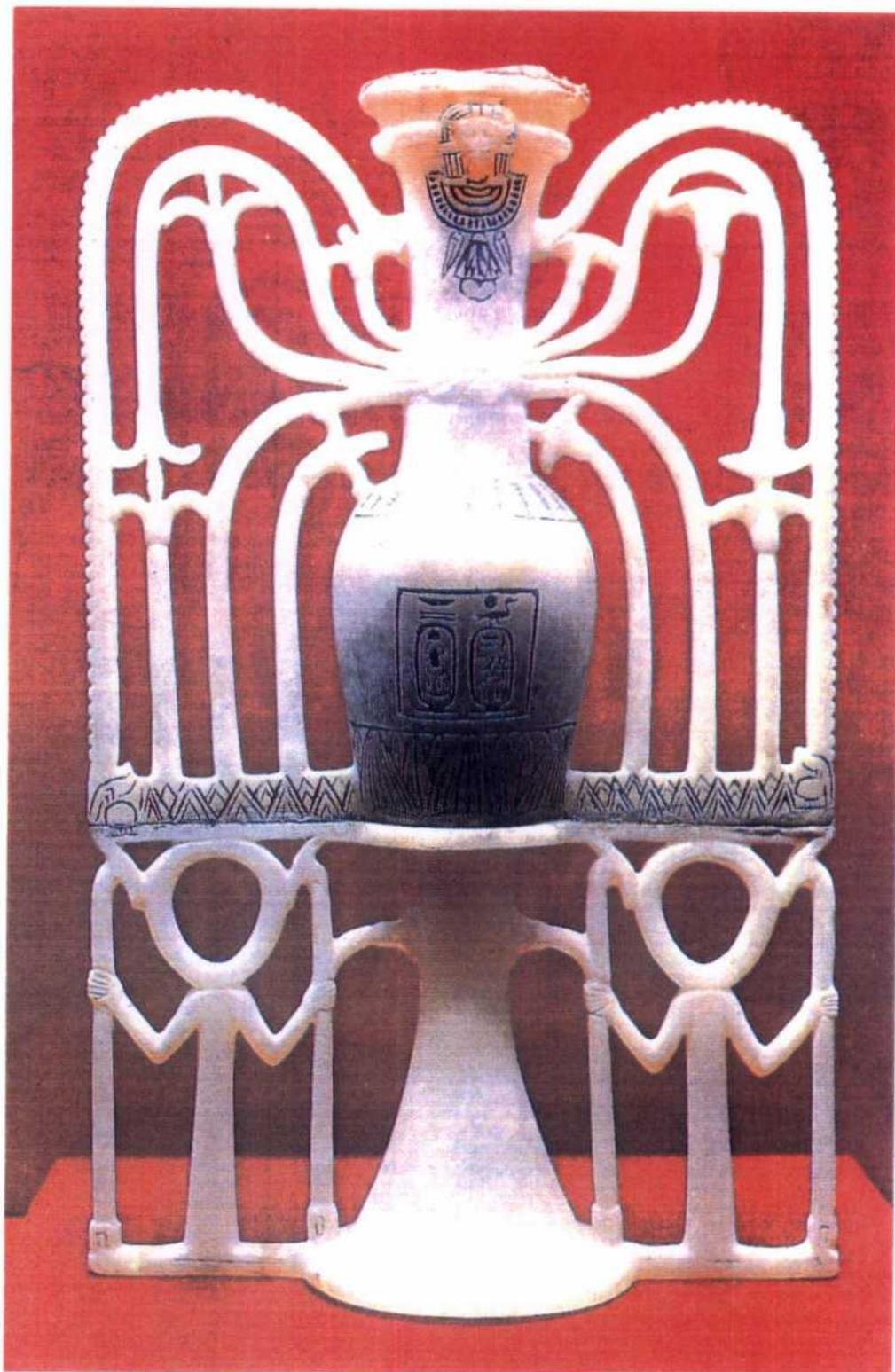


Fig.2E.- Vaso de unguentos, labrado en alabastro y encontrado en el ajuar funerario de la tumba del rey Tutankhamon (Imperio Nuevo, XVIII dinastía).El Cairo, Museo Egipcio.

En cuanto al calificativo "Oriental" que describe el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua, e incluso la denominación comercial "Asia" adoptada por SONADAL, hay que ser muy precavido al utilizarla y sería más recomendable efectuar una denominación de origen del alabastro que se extrae en España (Comunidad Autónoma de Aragón), como así lo realizan los italianos con el suyo, ya que se han identificado en el Valle del Nilo y en el Sinaí (Young, 1990) depósitos denominados como "Alabastro Oriental" y que en realidad y paradójicamente eran yacimientos de carbonato cálcico (calcita) y no de yeso. Precisamente Cecchela (1977) cita como una variedad de alabastro el denominado "Alabastro Calcáreo u Oriental", que en realidad es una roca marmórea con estructura fibroso-radiada y zonado-concéntrica (alabastro ónice). En el trabajo de Achille Piccio y Ugo Zezza (1968) se pueden revisar las características físicas del alabastro calcáreo italiano.

Otro ejemplo más, por último, de la confusión existente entre el alabastro y la calcita es el que reseña Myers (1981) cuando durante una gira de los tesoros del rey egipcio Tutankhamon por los Estados Unidos, dicha autora reconoció que alguno de los objetos nombrados como alabastro eran en realidad de naturaleza calcítica. Precisamente, el autor de la memoria de este Proyecto del ITGE ha podido comprobar personalmente, cuando estuvo visitando los tesoros arqueológicos que se guardan en el Museo Arqueológico Nacional, sito en Madrid, que la mayoría de los vasos egipcios que se exponen al público están tallados en alabastro calcáreo, que se denota al observar las texturas de las piezas (crecimientos de capas concéntricas de carbonato cálcico).

II.2.- Antecedentes históricos en la utilización del alabastro

Dentro de este apartado se ha pretendido, sin entrar en un estudio riguroso aunque sí intentando ser lo más fidedigno posible a las fuentes de información, la exposición de algunas de las obras de arte labradas en alabastro a lo largo de la historia de la humanidad y así podemos remontarnos a los albores de los tiempos (5.000 años a. de C.) donde en las culturas neolíticas existieron indicios de la utilización del alabastro por parte de la población (ver pag. 203-204 del tomo 1 de Historia de la Humanidad, Edit. Planeta). En concreto, en Egipto tanto las culturas Fayum como las Tasa emplearon paletas de alabastro para pulverizar y mezclar los pigmentos con los que practicaron la técnica de pintarse los ojos. Aquellos utensilios, que incluso eran contruidos con otros materiales como pizarra y caliza, estaban labrados por el anverso y por el reverso con motivos épicos de conquistas y por sus dimensiones (\approx 60 cm de largo) parece ser que tenían más importancia que la de meros objetos de tocador (Pijoan, 1970). Poseen en una de sus caras un pequeño depósito circular que se empleaba para diluir el "kohl" perfumado y los cosméticos (Fig.3A).

Posteriores generaciones de artesanos egipcios trabajaron profusamente el alabastro, realizando jarrones y botellas, para ungüentos y perfumes, copas, vasos y esculturas funerarias. Ejemplo significativo de estas últimas es la de la reina Hetereferes, madre del faraón Khufu, cuya denominación helénica es más conocida: Keops, que fue inmortalizada en un sarcófago de alabastro blanco, hace unos 2.500 años a. de C. .

El arte sumerio (3.000 años a. de C.) también buscó su inmortalidad en la utilización del alabastro -



Fig.3A.- Anverso y reverso de la paleta del rey Nar-Mer (Museo Egipcio, El Cairo). En el anverso, el faraón lleva la tiara blanca del Alto Egipto y su nombre está inscrito en la parte alta, en un recuadro flanqueado por dos cabezas de la diosa Hathor con orejas y cuernos de vaca. Le sigue su escudero (portasandalias) y tiene frente a él un halcón que cuenta seis clavijas, es decir, seis mil vencidos. A la derecha, en el reverso de la paleta aparece el faraón con la corona del Bajo Egipto, precedido de portaestandartes.

y se pueden contemplar obras como la estatua del intendente de la ciudad de Mari, Ebih-il (Museo del Louvre) (Fig.3B), que vivió en la primera mitad del tercer milenio antes de nuestra era, en posición oratoria y semblante beatífico, vestido con el "kaunakes" de piel de cordero, cuyos vellones de lana se hallan cuidadosamente labrados. Más moderna en el tiempo (2.100 años a. de C., arte neosumerio) es la Cabeza Femenina, tallada en alabastro, que se encuentra depositada en el Museo de la Universidad de Pennsylvania, procedente de Ur, la patria de Abraham. Ha sido identificada con una princesa neosumeria y también con la divinidad Ningal (Pijoan, 1970). La extraña expresión de su mirada está realzada con ojos de lapislázuli (Fig.3C).

Los asirios también emplearon el alabastro en motivos arquitectónicos, y en las ruinas de Nínive, cuyos días gloriosos rondaron los años 705 a 720 a. de C., se pueden contemplar los decorados de puertas, con cipos, y el revestimiento de las paredes, con estelas, en los numerosos palacios que se descubrieron.

Precisamente un antiguo palacio que ya existía en Nínive fue arrasado completamente por Senaquerib para construir uno nuevo en el mismo emplazamiento, y sus palabras dicen : "La plataforma del palacio la hice mayor, y con grandes piedras protegí sus partes altas. Cámaras de oro y plata, cristal de roca, alabastro y marfil, labré para habitación de mi dios y señor".

"Piezas de cedro, ciprés, pino y maderas de Sindai con gruesas barras de bronce, sigue diciendo Senaquerib, coloqué en las puertas, y en las cámaras de habitación dejé aberturas como ventanas altas. Grandes colosos de alabastro, llevando la tiara y con varios pares de cuernos, puse a cada lado de las puertas".

Senaquerib fue uno de los soberanos asirios más



Fig. 3B



Fig. 3C

poderosos y sanguinarios y de su palacio, desenterrado por Layard a partir de 1.849), se obtuvieron gran cantidad de relieves tallados en alabastro.

En la Figura 3D se puede contemplar una estela labrada en alabastro procedente del palacio de Khorsabad (Museo del Louvre) que representa una escena de caza, probablemente de Senaquerib adolescente, acompañado de su halconero, en el coto de Khorsabad.



Fig.3D



Ejemplo, también, de una estela asiria labrada en alabastro, que representa a un Genio Alado, procedente del Palacio de Assurbanipal II (Nimrud), 839-859 años a. de C. .

Sabido es que los fenicios eran célebres por su habilidad en la preparación de perfumes, de los que exportaban grandes cantidades envasados. Precisamente los envases empleados eran vasijas de alabastro, cuya forma más común es la de un frasco cilíndrico, más o menos largo, de base redondeada, cuello corto algo más angosto que la panza, con dos orejitas, agujereadas algunas veces para dar paso a un hilo o cordón destinado a suspenderlos.

Los escultores etruscos (siglo VIII a. de C.) aprendieron también el arte de trabajar el alabastro para tallar urnas, relieves en estelas y cipos, esfinges y sarcófagos con figuras, conservándose en la actualidad parte de sus obras como, por ejemplo, los sarcófagos que se pueden contemplar en el Museo Arqueológico de Florencia (Italia).

De las urnas funerarias etruscas, que se empleaban para albergar las cenizas del difunto, se conservan bastantes ejemplos en la actualidad y reproducen el semblante del muerto, sosteniendo con su mano izquierda la patena, que contiene el óbolo para pagar a Caronte, junto con imágenes alegóricas de la mitología griega o escenas cotidianas (Fig.3E).

En el Museo Guarnaci de Volterra (Italia) se encuentran unas 351 urnas funerarias, existiendo también urnas en el Museo Arqueológico de Florencia (Italia), en el Museo Vaticano, en el Museo del Louvre (París) y en el Museo Británico de Londres (Cecchella, 1977).

Las culturas griegas y romanas utilizaron el alabastro de manera esporádica, dado que emplearon el mármol como roca ornamental base para sus inclinaciones creativas, y así fue usado, sobre todo, en la elaboración de vasijas y ánforas para guardar perfumes.

En Knossos (Creta), la famosa capital del rey



Fig.3E.- Urna con relieves de la mitología clásica que representan la venganza de Orestes y donde el difunto aparece sólo, con el collar de siemprevivas en el cuello y, en la mano, el óbolo para Caronte (Museo Arqueológico de Florencia, Italia).

Minos, se han podido encontrar objetos tallados en alabastro, como así también en otros lugares de aquella isla. Cabe citar la sala de las columnas del palacio de Harfia Triada donde se conservan sus bancos tallados en bloques de alabastro (Motinot, 1980).

Precisamente, parece ser que la palabra alabastro proviene de un vocablo griego que significa: "difícil de sujetar", debido a que las botellas de alabastro se deslizaban entre los dedos; aunque las versiones de otros autores reflejan que el nombre de este mineral ornamental se deriva de un pueblo llamado "Alabastron", en el antiguo Egipto, cerca de Tebas, donde dicho mineral era extraído, o también de una isla griega del mismo nombre (Young, 1990).

Durante el Medio-Evo la utilización del alabastro decayó notablemente (desde el siglo I hasta los comienzos del Renacimiento), siendo algunos de los motivos, como señala Cecchela (1977), por una parte, el afianzamiento del cristianismo y la no utilización de urnas u otros motivos funerarios y, por otra, la fragilidad y alterabilidad que presentaba el alabastro y que no estaba en consonancia con la concepción severa y mística que poseía el arte en aquel tiempo.

El resurgir del alabastro en el campo de las bellas artes tuvo lugar a partir de los siglos XIV, en Inglaterra, y XVI, en Volterra (Italia). En España también hay obras escultóricas de estos siglos si bien no hemos podido conseguir datos acerca de la procedencia de los yacimientos de origen.

En Inglaterra, evidencias históricas y geológicas confirman que las áreas de Castle Hayes-Fauld (Staffordshire) y de Chellaston (Derbyshire) fueron las principales suministradoras de los bloques de alabastro para la elaboración de numerosas esculturas durante la Edad Media (Firman, 1984).

La primera efigie inglesa que se conoce labrada en alabastro pertenece a Sir John de Hanbury (Fig.4), muerto en Staffordshire alrededor del año 1.300 (Young,1990).

Fig.4 Sir John de Hanbury, Hanbury Church



Por otra parte, el primer rey inglés conmemorado en una escultura de alabastro fue Eduardo II, que murió en 1.327.

El auge de la producción inglesa durante aquella época se puso de manifiesto en numerosas figuras, altares y retablos, que se recogen en el trabajo de Young (1990) (Fig.5).

La exportación del alabastro inglés durante aquellos siglos viene reflejado por las numerosas obras de arte, en forma de retablos principalmente, que se conservan en países europeos como Islandia, Alemania, Francia, Italia, España y probablemente otros países (Cheetham,1962; en Firman,1984).En Italia se conservan, entre otros, los retablos del Palacio Blanco de Génova, de Santa Catalina, en Venecia y de San Benedetto de Settimo en Pisa (Cecchela,1977).

Los retablos de alabastro de procedencia inglesa que se encuentran en España, según una comunicación personal del señor Young, son los siguientes:

- 1.- Retablo del Apóstol Santiago el Grande, en la Catedral

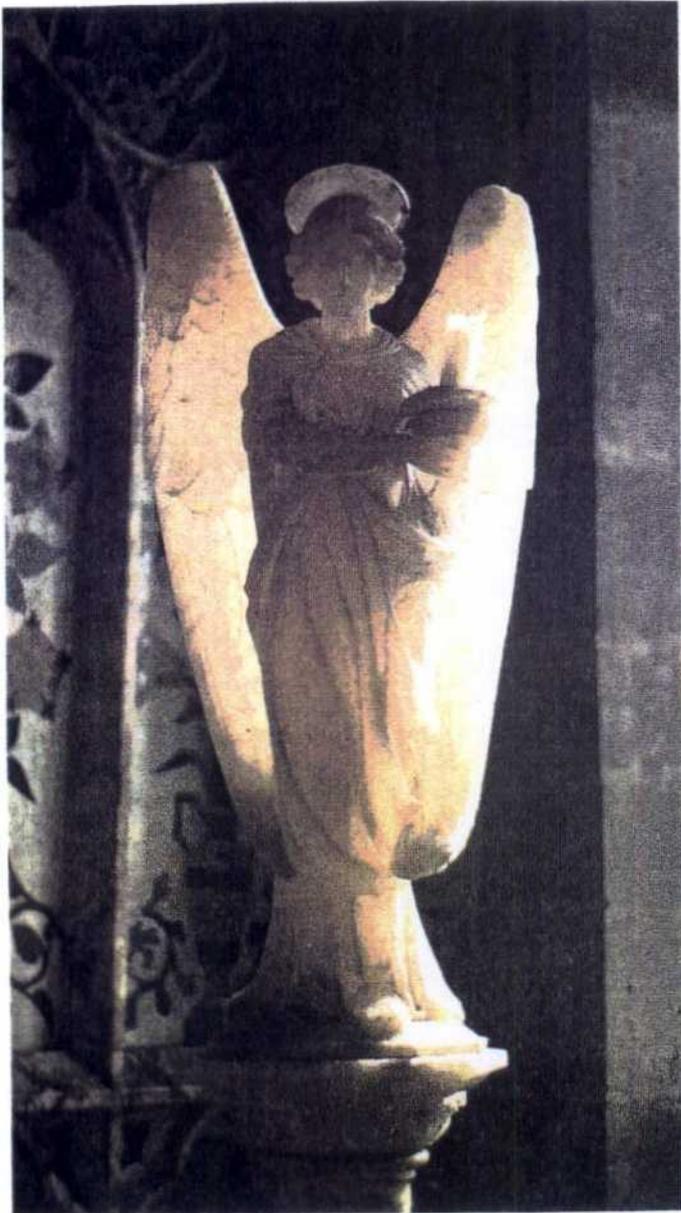


Fig.5.- Fotografías procedentes del trabajo de Young (1990) en las que se aprecian obras escultóricas sobre la variedad más preciada del alabastro de Chellaston (Inglaterra), que era de color blanco crema.

de Santiago de Compostela, que todavía hoy conserva la estructura o armazón original de madera. Un documento gallego de la época (1456) señala ésta procedencia y parece ser que fue donado por el cura John Goodyear, de la parroquia de Cheil (ahora Chale) en la isla de Wight, diócesis de Winchester, durante un viaje de peregrinación a dicha Catedral Compostelana.

2.- Retablo de la Virgen en una iglesia, no especifica en cual, de Avilés (segunda mitad del siglo XV).

3.- Retablo de la Virgen en la Catedral de Mondoñedo (Lugo), reflejado en un documento del año 1463.

4.- Retablo de Santa Catalina, en la iglesia de Santa María, Fuenterrabía (San Sebastián), (segunda mitad del siglo 15), ahora en el Museo Metropolitano de Nueva York.

5.- Retablo de la Virgen en la iglesia parroquial de Daroca (Zaragoza) (tercer cuarto del siglo XV).

6.- Retablo de la Virgen que se encontraba en la iglesia de Sta. María la Vieja, en Cartagena, y que ahora se puede admirar en el Museo Arqueológico Nacional (Madrid) (segunda mitad del siglo XV).

7.- Retablo de la Pasión, anteriormente en la iglesia de El Santo Sepulcro de Palma de Mallorca, que se puede contemplar en el Victoria and Albert Museum de Londres (1400).

8.- Retablo de los Apóstoles, observable en el Victoria and Albert Museum de Londres, y que se encontraba en una iglesia de Zamora (siglo XV).

Entre los diversos motivos o alegorías labradas por los artesanos ingleses, en los retablos dedicados a la Virgen, destaca el denominado: "Júbilo de la Virgen"; que representa a una figura final ornamental, emparejada

con Santa Margarita, a quien las mujeres suelen invocar para salir indemnes de los alumbramientos.

En Volterra (Italia) surge un nuevo auge en la utilización del alabastro a partir del siglo XVI, cuya tradición, y la solera de los trabajos de sus artesanos, perdura aún en la actualidad. Entre las muchas variedades de alabastro que tienen catalogadas destaca la denominada "scaglione", que muy bien podría ser considerada como "el oro del alabastro", tanto por su pureza y calidad como por el elevado precio que alcanza (aprox. 160 pta/kg).

En cuanto a España, las referencias que se van a citar, sin entrar en un estudio riguroso, se circunscriben a la Comunidad de Aragón y sus alrededores, donde se pueden encontrar numerosas esculturas y objetos arquitectónicos en los que se prestigia el carácter noble y bello del alabastro.

Así, en Zaragoza, antiguo poblado ibérico conocido como Salduba o Salduie, crisol de multitud de culturas (romanos, cristianos, bárbaros, musulmanes, judíos), se pueden contemplar grandes obras escultóricas realizadas en alabastro, como los retablos mayores de sus dos templos catedralicios, el de la Catedral del Salvador o La Seo (Fig. 6), labrado y policromado por los escultores Pere Johan y Hans Piet D'anso, y el de la Basílica del Pilar (Fig. 7), una de las piezas cumbres del renacimiento español y obra de Damian Forment, entre los años 1.509 y 1.516, un escultor valenciano que profesó un gran aprecio por este mineral industrial, dado que otros retablos suyos, como el de la Catedral de Huesca, el del Monasterio de Poblet (Tarragona) y el del Monasterio de Santo Domingo de la Calzada (La Rioja), obra esta última que dejó inacabada por su fallecimiento, fueron realizados en alabastro.

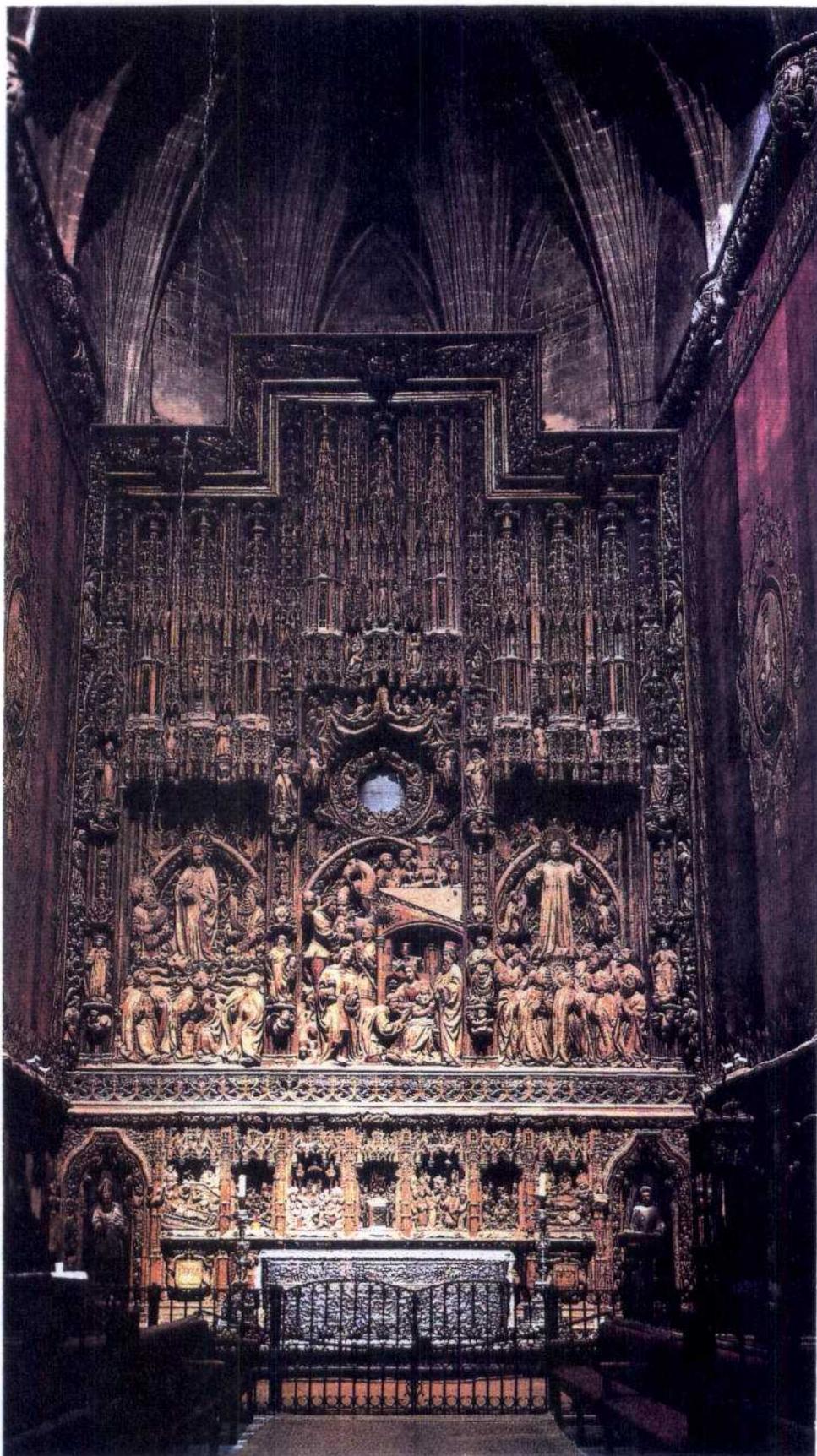


Fig.6.- Retablo Mayor, labrado en alabastro, de la catedral de La Seo, en Zaragoza.

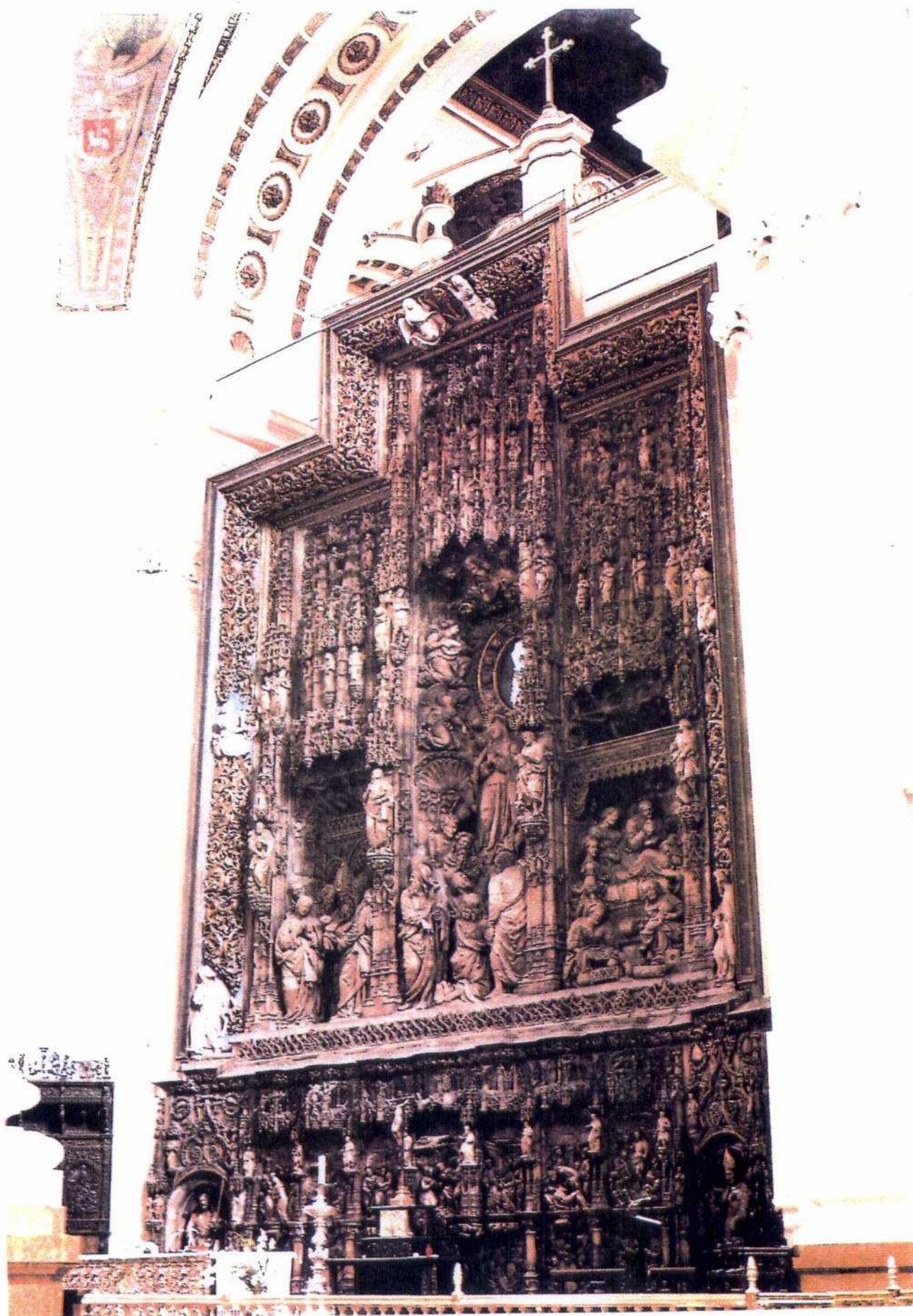


Fig.7.- Portada del retablo mayor de la Basílica del Pilar, Zaragoza, realizado con alabastro.

En la Catedral de La Seo existen también otras obras escultóricas talladas en alabastro como el sepulcro del arzobispo Lope Fernández de Luna, realizado por Pedro Moragues, y el retablo de San Miguel, obra de Juan de Ancheta.

La portada plateresca de la iglesia de Santa Engracia (Fig. 8), también en Zaragoza, está magníficamente tallada en alabastro y es obra de los escultores Gil Morlanes, padre e hijo, y concluida hacia 1516.

En Calatayud destaca también otra singular obra plateresca, en la Colegiata de Santa María (Fig.9A), labrada en alabastro.

La Catedral de Jaca también cuenta con un retablo hecho en alabastro (La Trinidad), realizado por Juan de Ancheta. Y en la iglesia parroquial de Escatrón (Zaragoza) puede ser también contemplado otro retablo (Fig.9B) en alabastro, cuyo emplazamiento primitivo estuvo ubicado en el Monasterio de Rueda (Cister), a escasos metros de aquel pueblo, y que durante el periodo de La Desamortización de Mendizábal fue requisado y trasladado a su emplazamiento actual. Por otro lado, y también dentro de la zona de estudio, en el pueblo de Velilla de Ebro, existió un retablo mayor labrado en alabastro, obra de Damian Forment y datada su terminación en 1.532, en el Monasterio de San Nicolás, hoy totalmente destruido.

En cuanto al empleo del alabastro en la arquitectura civil de la capital de la Comunidad de Aragón hay que destacar los patios interiores de los palacios de los Condes de Sástago (Fig.10) y de Zaporta (Fig.11), este último uno de los más importantes del plateresco hispano, junto con los diversos capiteles y otros motivos arquitectónicos del Palacio de la Aljafería (Fig.12).



Fig.8.- Portada, tallada en alabastro y en pleno centro de Zaragoza, de la iglesia de Santa Engracia.



Fig.9A.- Portada en Alabastro de la iglesia de Sta.María, Calatayud.



Fig.9B.- Retablo en alabastro en la iglesia parroquial de Escatrón.



Fig.10

En nuestros días, el alabastro en España está en periodo de reconversión, buscando una identidad propia en todo ese pasado escultórico heredado, y así escultores contemporáneos, renombrados universalmente, como Oteiza y Chillida, entre otros, están volviendo a encumbrar y prestigiar a este bello mineral industrial.



Fig.11.- Patio labrado en alabastro, del antiguo palacio renacentista de Zaporta, y que es conocido como "Patio de la Infanta", sito en Zaragoza.

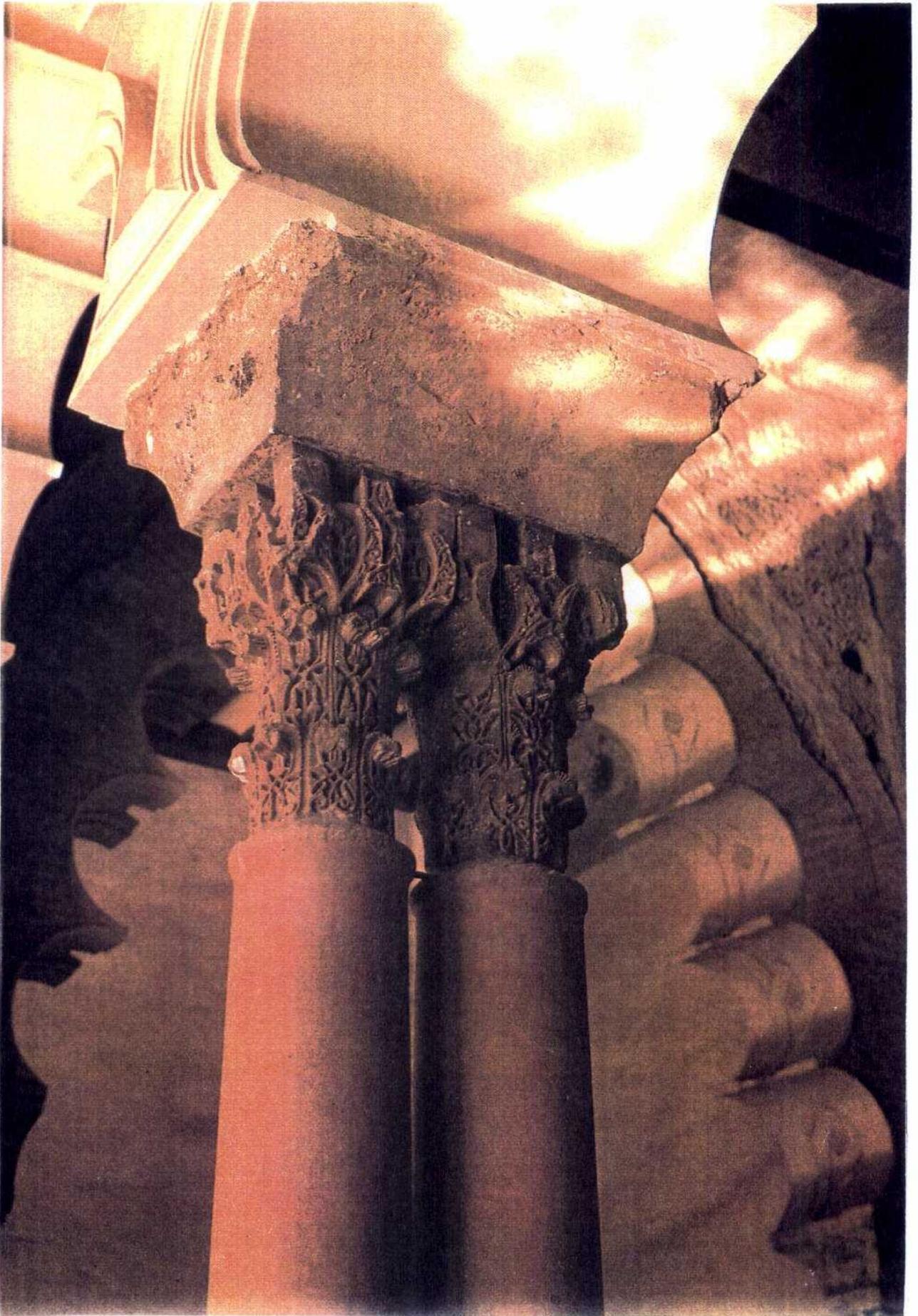
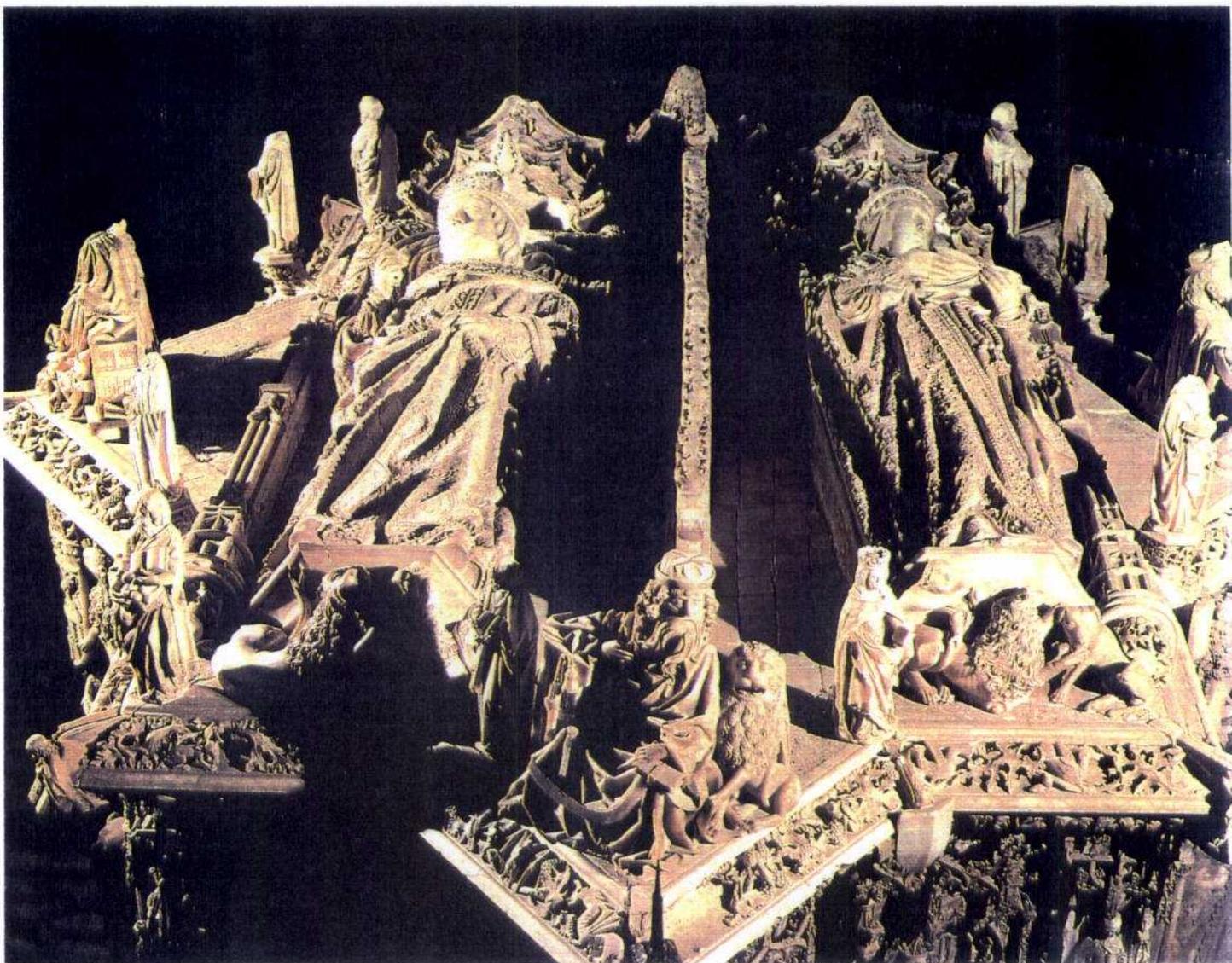


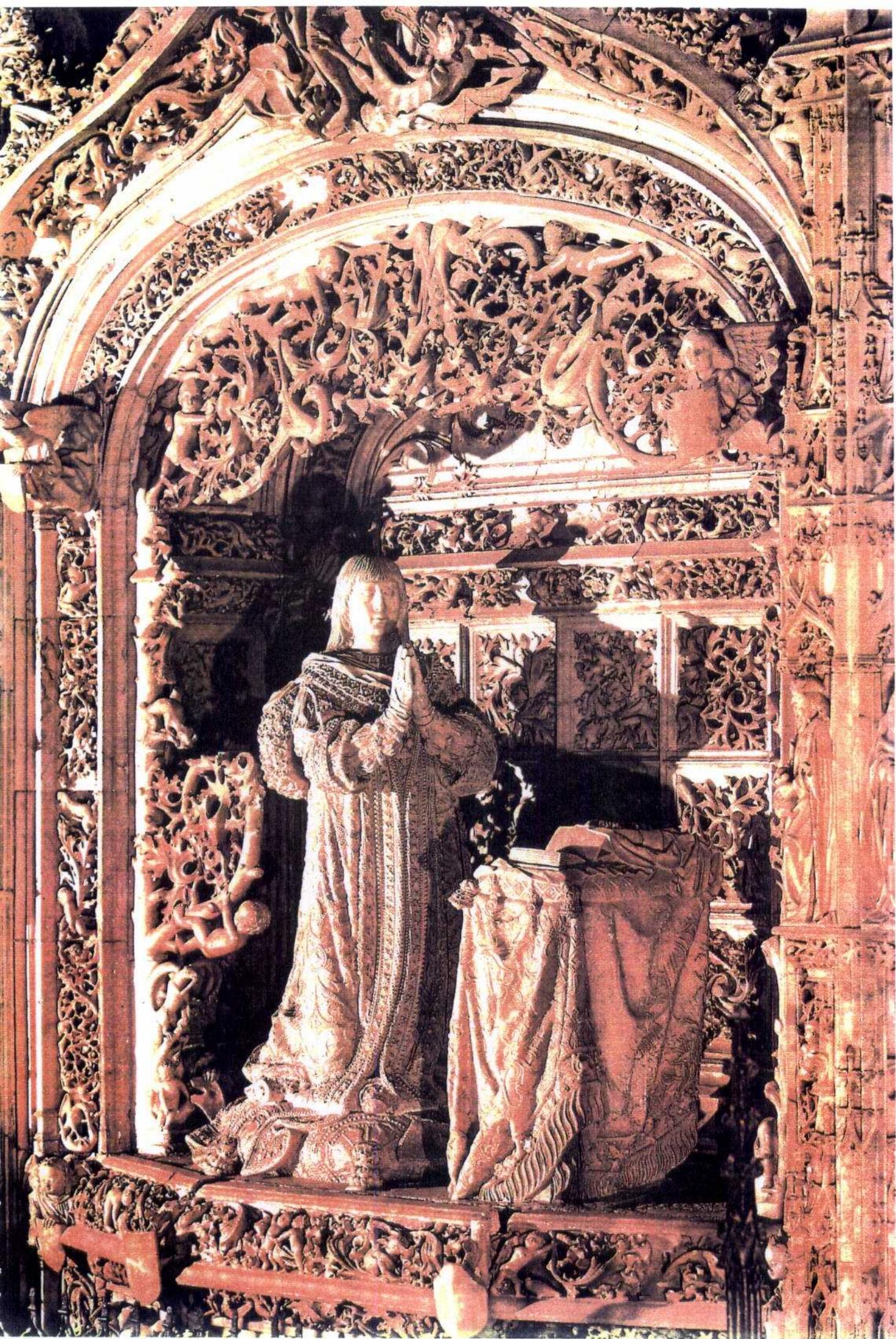
Fig.12

A modo de corolario fotográfico, y en las siguientes páginas, se expone parte del riquísimo patrimonio artístico labrado en alabastro que se halla en España y que con este Proyecto de Investigación se quiere contribuir a su difusión.



En la Cartuja de Miraflores (Burgos), y labrado en alabastro, se puede contemplar este sepulcro del rey Juan II y de su esposa Isabel de Portugal. Es obra de Gil de Siloe entre los años 1486 y 1488.

Este mismo autor, y para la misma Cartuja, labró otro sepulcro (ver página siguiente) del infante don Alfonso (c.1490), cuya profusión de detalles constituye más una obra de orfebre que la de un escultor.

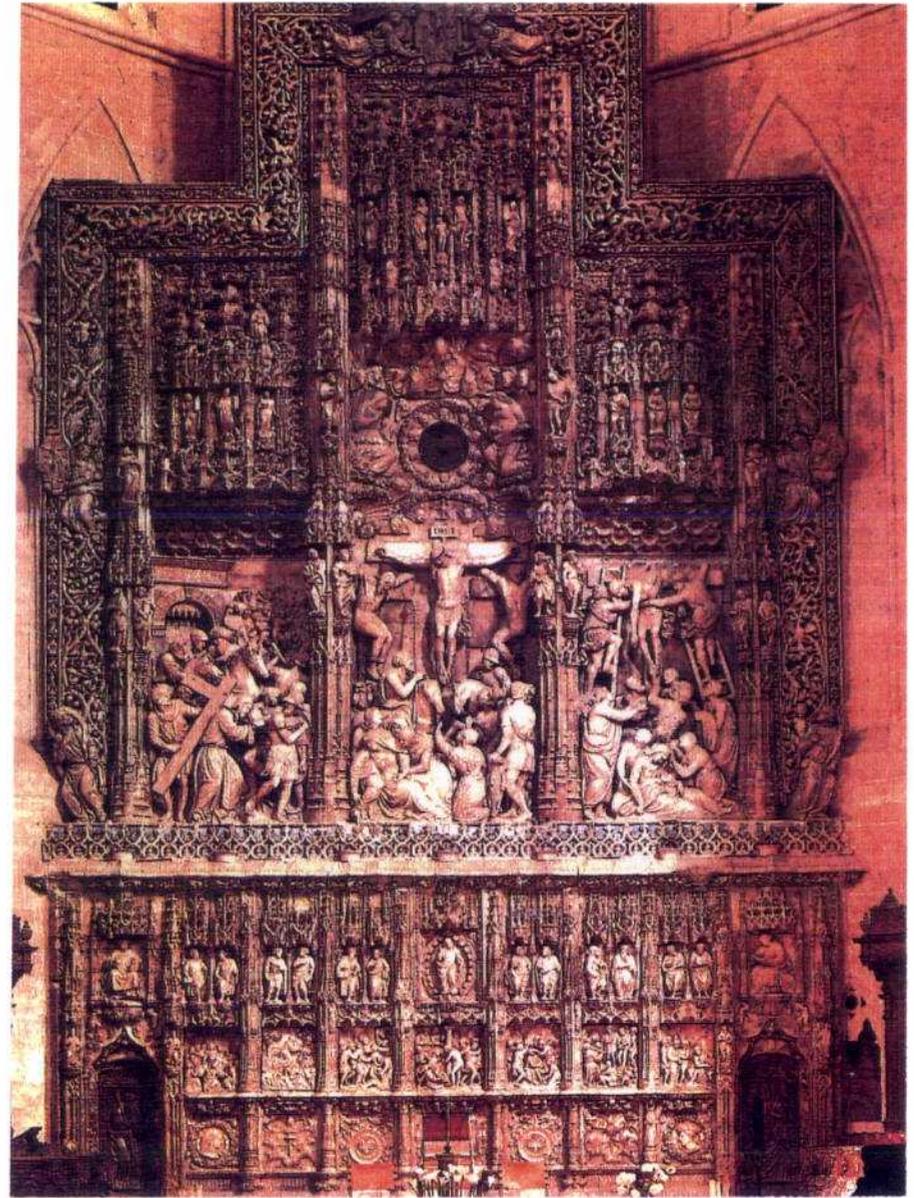




Sepulcro, en alabastro, del obispo Alonso de Madrigal «el Tostado» (fotografía parcial) que se encuentra en la catedral de Ávila. Data del año 1518 y su autor fue Vasco de la Zarza.



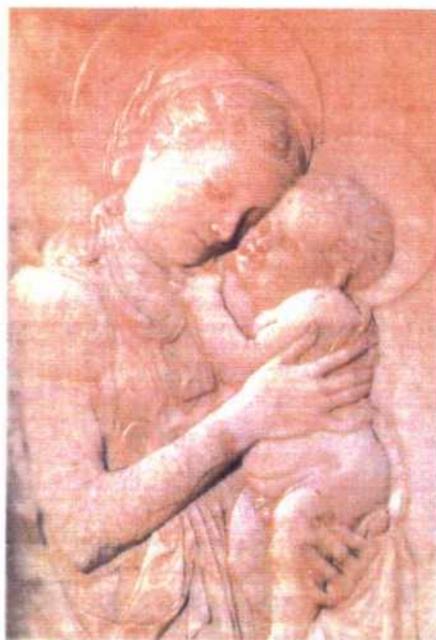
Retablo de Montearagón, por Gil Morlanes el Viejo; 1506-c.1512. Catedral de Huesca.



Retablo Mayor de la Catedral de Huesca.
Obra de Damian Forment entre 1520 y 1534.



Sepulcro de Gonzalo de Illescas, en el monasterio de Guadalupe (Cáceres), que está labrado en alabastro por Egas Cueman alrededor del año 1458.



Estela hecha de alabastro que representa a la Virgen con el Niño por anónimo florentino (c.1460). Dimensiones 0,56x0,39 m. Se halla en la catedral de Badajoz.



Sepulcro de Bernat de Pau, labrado en alabastro, de autor anónimo del tercer cuarto del siglo XV. Catedral de Gerona.

II.3.- Usos del alabastro en la actualidad

El alabastro es un mineral industrial que por sus propiedades físicas y composición mineralógica es un producto típico de ornamentación para interiores, a resguardo de la intemperie u otros agentes atmosféricos. Así, frente a otras rocas y minerales ornamentales, tiene la desventaja de su menor durabilidad, ya que tanto por la acción humana, debido a su escasa dureza (alrededor de 2 escala Mohs) y baja temperatura de calcinación (entre 128-163°C), como por la acción erosiva de la naturaleza, teniendo en cuenta su relativamente fácil solubilidad en agua, hace que el alabastro sea susceptible de ser dañado.

Las propiedades físicas más importantes del alabastro son su translucidez y su dureza, que hacen que sea empleado actualmente en la fabricación de apliques y paneles de recubrimiento, aprovechando sus inmejorables cualidades de difusor de la luz, y en la creación de variados objetos decorativos (Fig.13), que pueden alcanzar la categoría de arte cuando son labrados por manos artesanas. El arte de trabajar el alabastro se conoce con el nombre alabastrofía.

Las cualidades de translucidez del alabastro ya eran conocidas en la antigua Roma y precisamente Nerón lo mandó utilizar para construir un templo a la diosa Fortuna, con la particularidad de que carecía de ventanas, dado el grado de translucidez que el material poseía. Durante la Edad Media se usó también en las claraboyas de los templos, en lugar de las vidrieras.

Otra manera de comercializar hoy en día el alabastro es mediante un proceso artificial, en el que los resultados no son tan espectaculares como los que se obtienen trabajando la materia prima natural. Para ello se muelen los fragmentos sobrantes del material labrado hasta un polvo muy fino ($<75 \mu\text{m}$), que será mezclado con un aglomeran-

te-cola, para posteriormente, o bien ser vertido en moldes, previamente preparados, o bien ser torneado manualmente. Los productos obtenidos mediante este procedimiento artificial pierden translucidez y ganan en porosidad, con la consiguiente reducción de peso de las piezas.

Finalmente, se puede indicar otra peculiaridad más de este mineral industrial ornamental y que es su favorable predisposición a ser teñido.

En la Figura 14 se pueden contemplar algunos de los distintos procesos que sufre el alabastro, desde que se extrae en la cantera hasta su comercialización final.

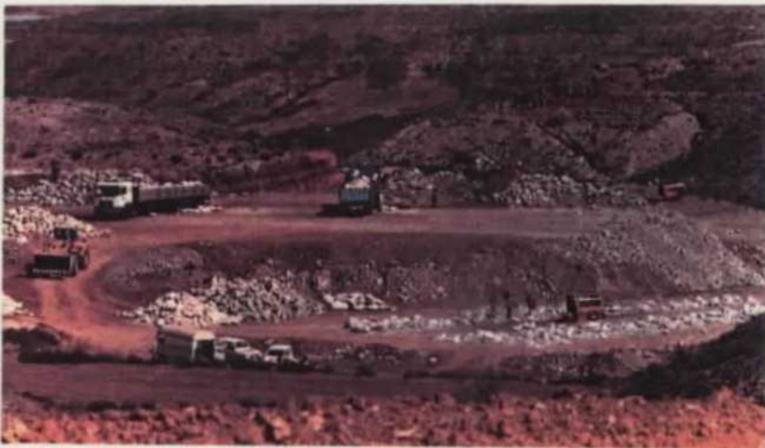
Primeramente, una vez extraído el meganódulo de alabastro, se procede a su apilamiento en la plaza de la cantera y se efectúa su "pelado" o "descascarillado" (Fig.14), es decir, la eliminación de la costra externa que recubre al bolo y que está constituida por margas, calizas, arcillas u otros materiales, que origina un aprovechamiento del nódulo entre un 25 y un 60 % .Una vez realizado este proceso, los bolos de alabastro están listos para su cargamento en camiones y su envío a los centros de producción.

El rendimiento Kg-hombre-hora está relacionado con el tamaño de los nódulos, la recristalización del alabastro y las impurezas, y puede oscilar entre los 250 Kg/h/h, bajos rendimientos, hasta los 300 Kg/h/h, en condiciones favorables.

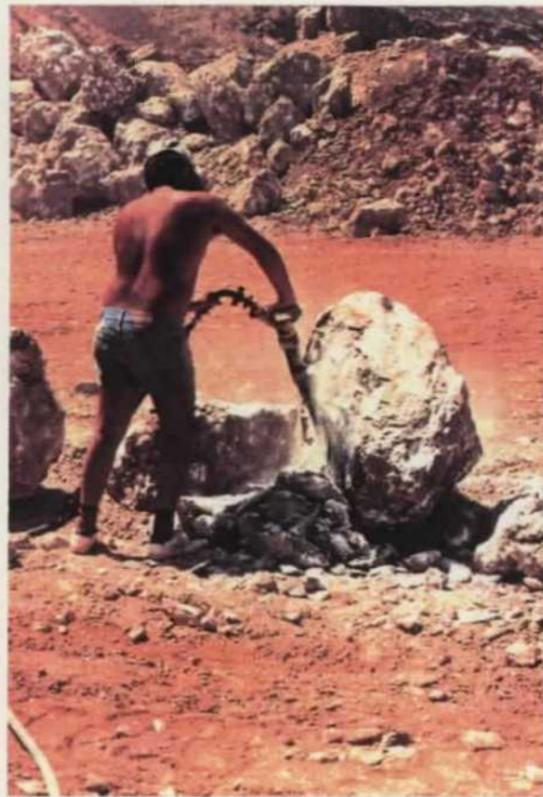
En la actualidad, la empresa NALSA S.A. y otros productores de alabastro están poniendo en práctica un método de "descascarillado" mecanizado mediante máquinas con coronas perforadoras de gran y variado diámetro (Fig.14) todo ello con el fin de obtener un producto semielaborado para abaratar el coste final del proceso.



Fig.13.- Imágenes de piezas labradas en alabastro, cuya procedencia es la del área de estudio. Forman parte de la exposición de la empresa ARMINSA (Cinco Olivas, Zaragoza).



Cantera



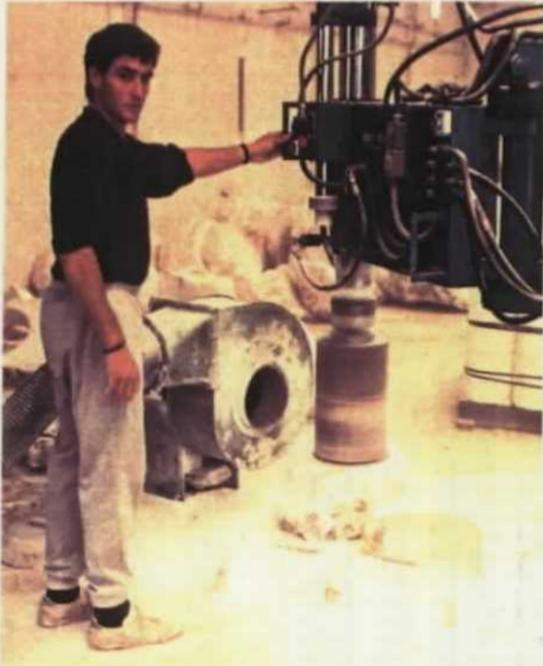
Descascarillado



Sierra circular



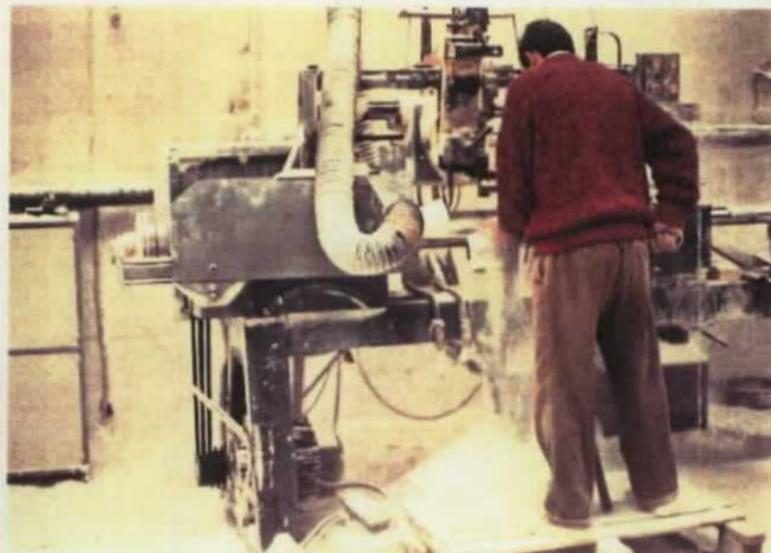
Sierra de flejes



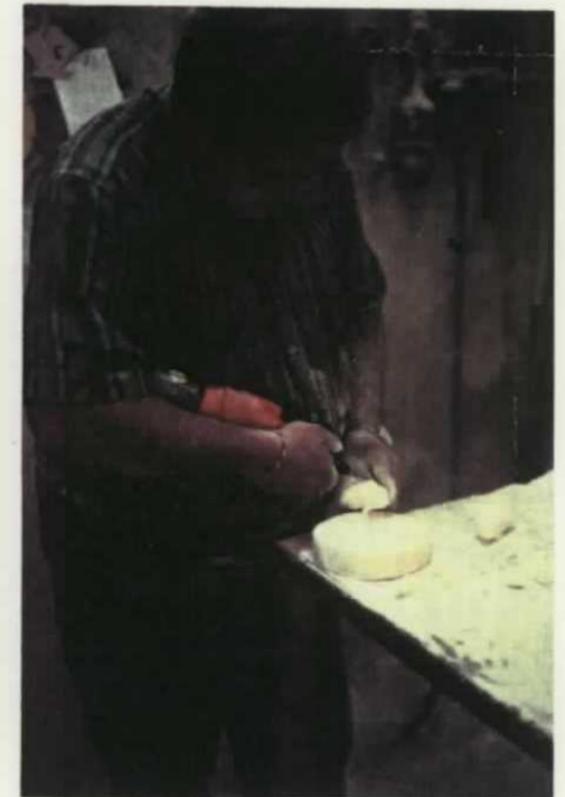
Tronzadora



Serrado de placas a medida



Torneado



Tallado



Barnizado



Exposición

Fig.14.- Láminas fotográficas que muestran el proceso de tratamiento del alabastro, desde su extracción en la cantera hasta las distintas operaciones mecánicas de elaboración, para la obtención del producto comercial final.

En las plantas o talleres de elaboración se realiza el serrado de los bolos de alabastro por medio de sierras semejantes a las utilizadas en carpintería, con flejes de acero dentado sin fin, sierras de vaiven y de discos adiamantados, con un gran diámetro de corte (Fig.14).

El torneado se efectúa manualmente o bien en tornos automáticos, para conseguir una producción homogénea, efectuándose un ligero pulido o lijado de las superficies de las piezas para evitar las asperezas.

La labor de tallado se realiza manualmente por el artesano que, con perforadores firmemente asidos contra su cuerpo o bien suspendidos en el aire mediante un hilo o cuerda, debido al tamaño de la obra a tallar, da forma o crea espacio a la piedra de alabastro.

Por último, el barnizado de las piezas crea una capa de protección sobre las mismas a la vez que resalta la translucidez intrínseca del alabastro. Se realiza en unas salas acondicionadas al efecto, dada la toxicidad del barniz, donde los objetos a barnizar se sitúan en unas plataformas giratorias (Fig.14). Con el posterior secado de los mismos se puede proceder a su embalaje, almacenamiento y exposición para su venta.

II.4.- Yacimientos de alabastro en el mundo

Los yacimientos de alabastro a nivel mundial están bastante dispersos por el Globo y así se conocen explotaciones o indicios en tres continentes: América, Africa y Europa, teniendo en cuenta las referencias bibliográficas manejadas.

En América, en Estados Unidos concretamente, existen diversos depósitos de alabastro como el que se extrae en una mina de yeso en Los Grandes Rápidos (Michigan) (Myers, 1981), de color naranja, o los que se citan existentes en Nueva York, Nebraska, Iowa, Kansas, Oklahoma y Nuevo Méjico.

En Africa se ha encontrado una cita, en checo, Mrázek (1985), en la que se hace referencia a unos depósitos de alabastro situados a unos 100 km al SW de Trípoli (Libia).

En Europa las referencias bibliográficas sobre yacimientos de alabastro son relativamente abundantes y, sobre todo, hay que destacar los estudios de Cecchella (1972) y Firman (1984) sobre el alabastro italiano e inglés respectivamente.

El alabastro que se extrae en Volterra (Italia) y en sus alrededores, es conocido mundialmente por su calidad y se encuentra en los materiales neógenos del Terciario italiano (Cecchella, 1977).

La extracción del mineral se realiza o bien a cielo abierto, en las canteras de Pomarance, Volterra y Montecatini Val di Cecina, o bien subterráneamente (Fig.15A), con galerías que discurren a una profundidad de 280 m bajo la superficie. El alabastro que se extrae a estas profundidades es el más puro y el de más amplia reputación interna-



Fig.15A

cional y se extrae en la Zona de Castellina Marittima, donde se conocen tres variedades cuyos nombres son: 1) Alabastro opalino transparente o "bianco statutario, 2) Alabastro de 1^ª categoría o "scaglione", y 3) Alabastro opalino de 2^ª categoría. Las cualidades fundamentales de este alabastro son su aspecto, muy próximo al de un cristal, y las escasas inhomogeneidades e impurezas.

En la actualidad, la producción de la variedad "scaglione" que se extrae en las canteras italianas alcanza las 300 ton/año, siendo el precio medio de venta del producto en bruto de unas 200.000 liras/quintal, es decir aproximadamente unas 160 pta/kg (información dada por Miguel Angel Vera, NALSA S.A.).

En la Tabla 1 se puede observar la clasificación de las variedades del alabastro que se extrae en Italia (Cecchella, 1977).

Denominazione locale	Aspetto	Denominazione per confronto col marmo
pietra gialla	fondo che va dal giallo e dal rossiccio fino al marrone scuro	alabastro giallo
agata bionda	color caffè-latte chiarissimo ambrato, sub-trasparente e quasi perfettamente uniforme la massa, in parte sub-trasparente, è dell'agata bionda, ma con inclusioni rossiccio-brune del gabbro e qualcosa del cenerino-nero	alabastro giallo trasparente
agata bardigliata		alabastro giallo bardigliato
bianco-avorio	si presenta come il marmo statuario o come il bianco P. Ha delicate variegature dal latte al sub-trasparente	alabastro avorio statuario
pietra a marmo	fondo di bianco avorio con lievi e delicate venature grigio rossiccio verdognole, si da ricordare il marmo «calacata». Spesso le venature divengono macchia	alabastro avorio venato-macchiato
bardiglio brizzolato	fondo di bianco avorio sub-trasparente in parte con venature e macchie di fantasia di color grigio-nerastro chiaro a volte rossiccio. Manca completamente quel fondo tendente all'azzurrognolo «petto di piccione» caratteristico dei marmi bardigli	alabastro arabescato
bardiglio	fondo bianco diffuso di cenerognolo con macchie che ricordano il muschio, dal giallo grigio verdognolo al nerastro; vi è un particolare effetto di rilievo che i marmi non possiedono	alabastro bardiglio
bardiglio rigato	fondo a larghe striscie parallele come nei marmi cipollini, di colore dal bianco-cenere al grigio verdastro	alabastro cipollino
cenerino	fondo cenere con tendenza al verde oliva e zone variamente lucidabili	alabastro cenerino
gabbro	fondo tra il nero e il marrone rosso cupo, uniformemente lucidabile: non ha nulla del verde che possa giustificare l'attuale parola almeno nel colore	alabastro nero-marrone
bianco Castellina	si presenta con la delicata sub-trasparenza di certi vetri smerigliati, senza alcuna macchia neanche lieve, ma con accennate variegature	alabastro opalino trasparente
scaglione della Castellina	si presenta opalino come il precedente ma a macchie o variegature di un bel nero cupo	alabastro opalino macchiato

Tabla 1

En la Figura 15B se pueden contemplar las láminas fotográficas de las variedades más significativas del alabastro que se extrae en la región volterrana.



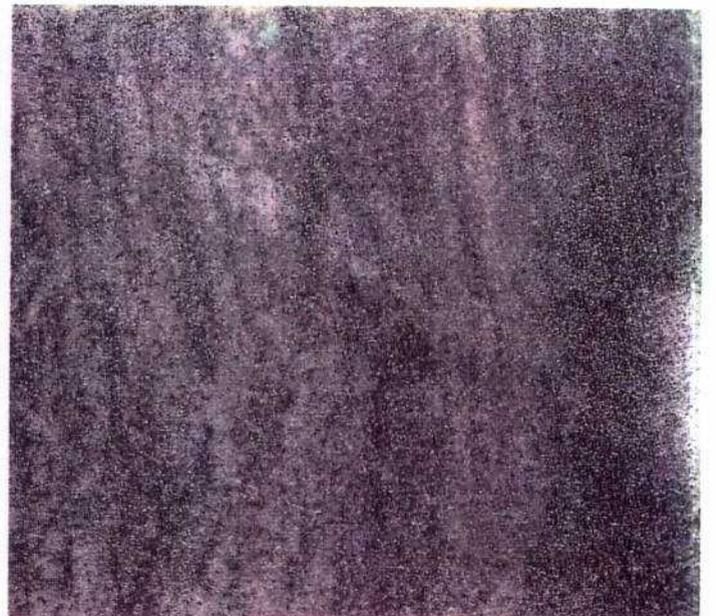
Scaglione



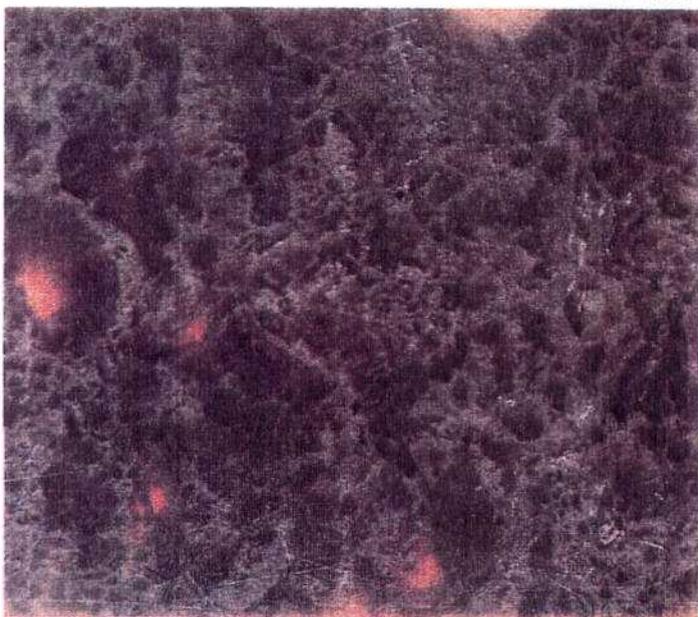
Agata



Bardiglio



Cinerino



Gabbro



Pietra Gialla

Firman (1984) efectuó un trabajo muy interesante sobre las evidencias geológicas e históricas del alabastro inglés y en aquél se pueden consultar las principales localizaciones de los depósitos de alabastro y que se aprecian en la Figura 15C.

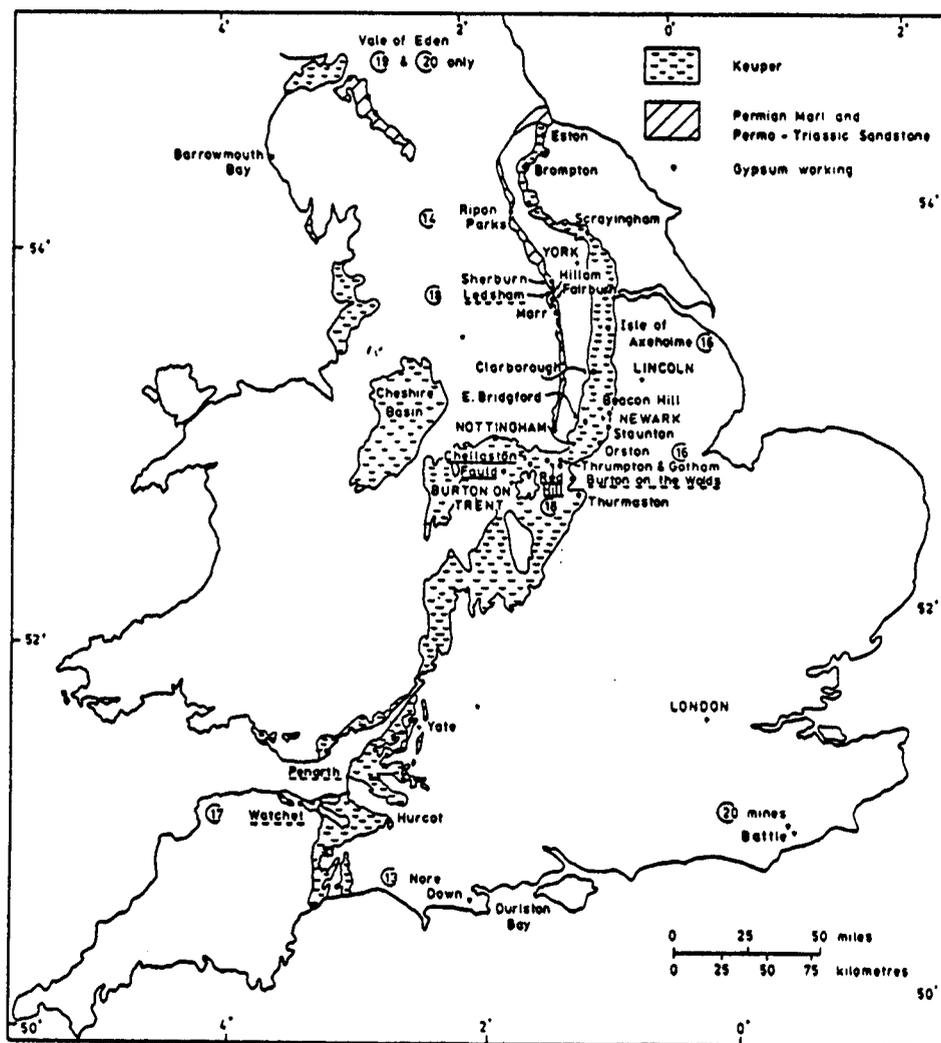


Fig.15C.- Gráfico, tomado de Firman (1984), en el que se indican las localidades productoras (línea subrayada continua) de alabastro y también las de menor producción (línea subrayada discontinua).

Los yacimientos franceses de alabastro (Motinot, 1980) se encuentran en Les Usines de Cudane (Doubs), Vizille (Isere), Léomont (Moncel, Meurthe), Arnet y Carnetin, cerca de Lagny (Seine-et-Marne), Montmartre (Seine), las grandes canteras de la isla Adam (Seine-et-Oise) y las yeserías de Vaux y Grisy (Seine-et-Oise).

En España se extrae un alabastro de tanta calidad como el italiano y con unas propiedades físicas, como translucidez, pureza, opalescencia y compacidad, excelentes.

Las canteras estudiadas dentro de nuestra área de investigación, y de las que se extrae un alabastro conocido, fundamentalmente en Italia, como alabastro transparente de Azaila (Teruel), constituyen los yacimientos de alabastro de más interés de toda la Península Ibérica.

De los abundantes estudios realizados por el ITGE para la investigación de yesos en España no se han encontrado citas significativas de extracciones o indicios de alabastro lejos del entorno de la Cuenca del Ebro y de la Cuenca de Calatayud, salvo unas antiguas canteras en Sarreal (Tarragona), hoy en día abandonadas pero donde existe una tradición de manufactura del alabastro, que procede de Aragón, y unas explotaciones de yesos alabastriños oligocenos en Jadraque y sus proximidades (Aleas, Guadaluajara). Precisamente de esta última localidad se extrajeron los bloques de alabastro con los que se realizó el sepulcro del arzobispo Fernando de Valdés Salas, fundador de la Universidad de Oviedo, y que se encuentra en Salas (Asturias), siendo terminada su realización en el año 1582 (Llano Roza, 1928). Como escribe este autor: " El artista Pompeo Leoni se comprometió, mediante escritura pública otorgada en 1576, a fabricar el mausoleo por el precio de seis mil y quinientos ducados de a trescientos setenta y cinco maravedises. Se contrató la conducción de las piedras en cuarenta

o cincuenta carros de bueyes, cada uno de los cuales llevaría un peso de mil libras, próximamente, hasta León, abonándose un ducado más de lo estipulado, y por cada carro, por el transporte de León a Salas. El transporte se realizó en 1583 y los trabajos de erección del monumento se ultimaron en 1587.

En la Figura 15C' se puede contemplar el mausoleo anteriormente descrito.

A modo de corolario, y durante las últimas fases de elaboración de ésta memoria, se ha podido constatar, según los datos obtenidos en los archivos de la Dirección General de Minas, la existencia de una explotación de alabastro, próxima a su apertura, entre las provincias de Almería y Murcia (Hoja MTN 996 Huercal-Overa). Es un alabastro perteneciente al sistema Triásico y siendo la morfología del depósito no nodular, como los yacimientos del Valle del Ebro, sino de aspecto masivo y potente.

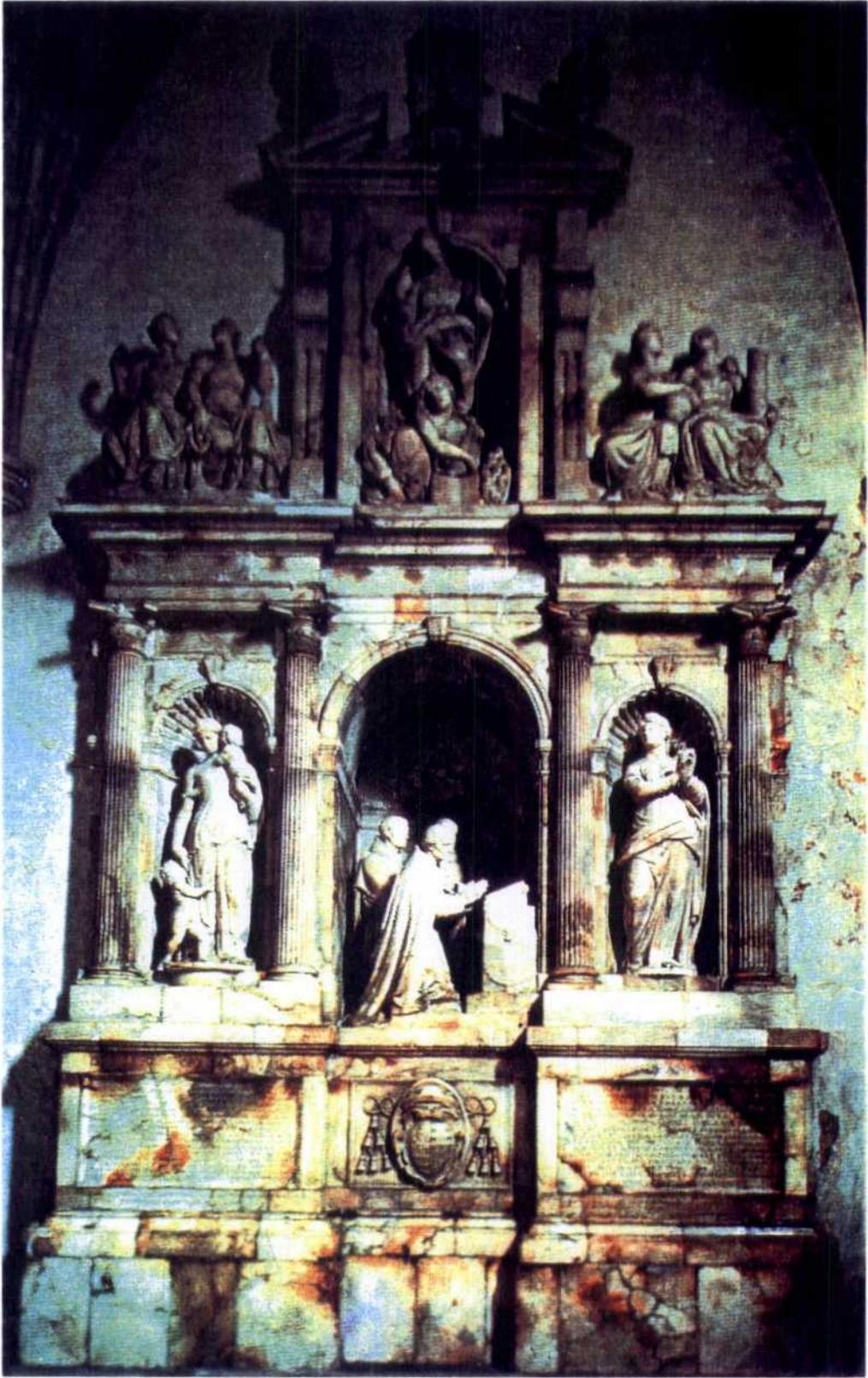


Fig.15C'.- Mausoleo del arzobispo Valdés Salas, labrado en alabastro procedente de Aleas (Guadalajara), y que se encuentra en la Colegiata Mayor de Salas (Asturias).

III.- OBJETIVOS Y METODOLOGIA DE TRABAJO

III.- OBJETIVOS Y METODOLOGIA DE TRABAJO

En esta investigación se planteó el estudio de los depósitos de alabastro, aflorantes en un entorno comprendido entre las localidades de Velilla de Ebro, Azaila, Escatrón y Sástago, mediante un conjunto de sondeos (nueve en total), de no excesiva profundidad (alrededor de 38m de media), situados escalonadamente en altura y repartidos de este a oeste, para definir los niveles de alabastro susceptibles de ser explotados y conocer la columna estratigráfica general del área de estudio. Mediante un detallado levantamiento de las columnas estratigráficas de cada sondeo, así como de los cortes realizados, tanto en las canteras como en los afloramientos naturales, en los distintos recorridos de campo, se ha intentado efectuar un bloque diagrama que refleje la disposición de los materiales y los cuerpos de alabastro existentes.

Se ha realizado un muestreo de los niveles arcillosos, entre los que normalmente se intercalan las capas alabastrinas, para intentar caracterizar, en la medida de lo posible, el medio sedimentario en el que se formaron los depósitos de alabastro. Por último, se ha cartografiado la zona de estudio a escala 1/50.000.

La metodología de trabajo fue la siguiente:

- 1) Recogida de toda la información bibliográfica que hiciera referencia al área, así como los artículos y trabajos relacionados con el tema alabastro y minerales afines.
- 2) Recorrido de campo y elección de los puntos de sondeo.
- 3) Levantamiento de las columnas estratigráficas a pie del sondeo y recorridos por los afloramientos más significativos.
- 4) Muestreo de los niveles arcillosos sondeados.

- 5) Análisis y estudios de laboratorio (mineralógicos, petrográficos, químicos y tecnológicos).
- 6) Elaboración de la memoria final de proyecto.

IV.- MARCO GEOGRAFICO Y MORFOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO

IV.- MARCO GEOGRAFICO Y MORFOLOGICO DEL AREA DE ESTUDIO

El área investigada, dentro de las hojas N^{ROS} 412 (Pina de Ebro), 413 (Gelsa), 440 (Belchite) y 441 (Hijar) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1/50.000, se halla situada entre las provincias de Zaragoza y Teruel, a unos 60 Km al SE de la capital de la Autonomía (Zaragoza), comprendiendo una extensión aproximada de unas 26.000 Ha (Fig.15D).

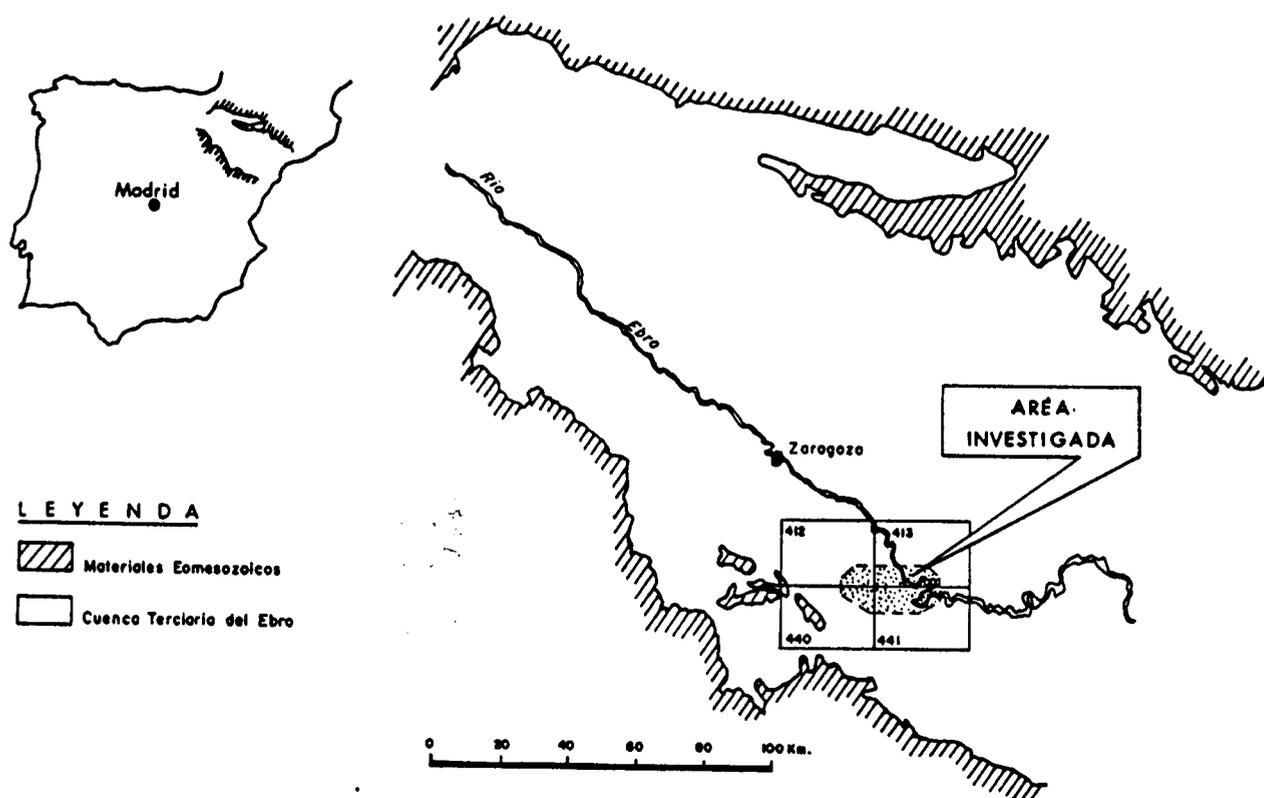


Fig.15D

Las alturas más representativas dentro de la zona van desde los 335-280 m, por el oeste y sur respectivamente, hasta los 200 m, por todo el NE .

Por su superficie, la red fluvial más representativa está encabezada por el río Ebro, que discurre diagonalmente hacia el SE, y que divaga su curso entre las localidades de Alforque y Escatrón. Como afluente del río Ebro destaca el río Aguasvivas con el que confluye a la altura del pueblo de La Zaida.

Son abundantes en la zona los barrancos, con arroyos numerosos en épocas de lluvias torrenciales, siendo el más importante, por sus dimensiones y porque afecta al área investigada, el Barranco de Lopín, con la dirección de las aguas vergiendo de oeste a este.

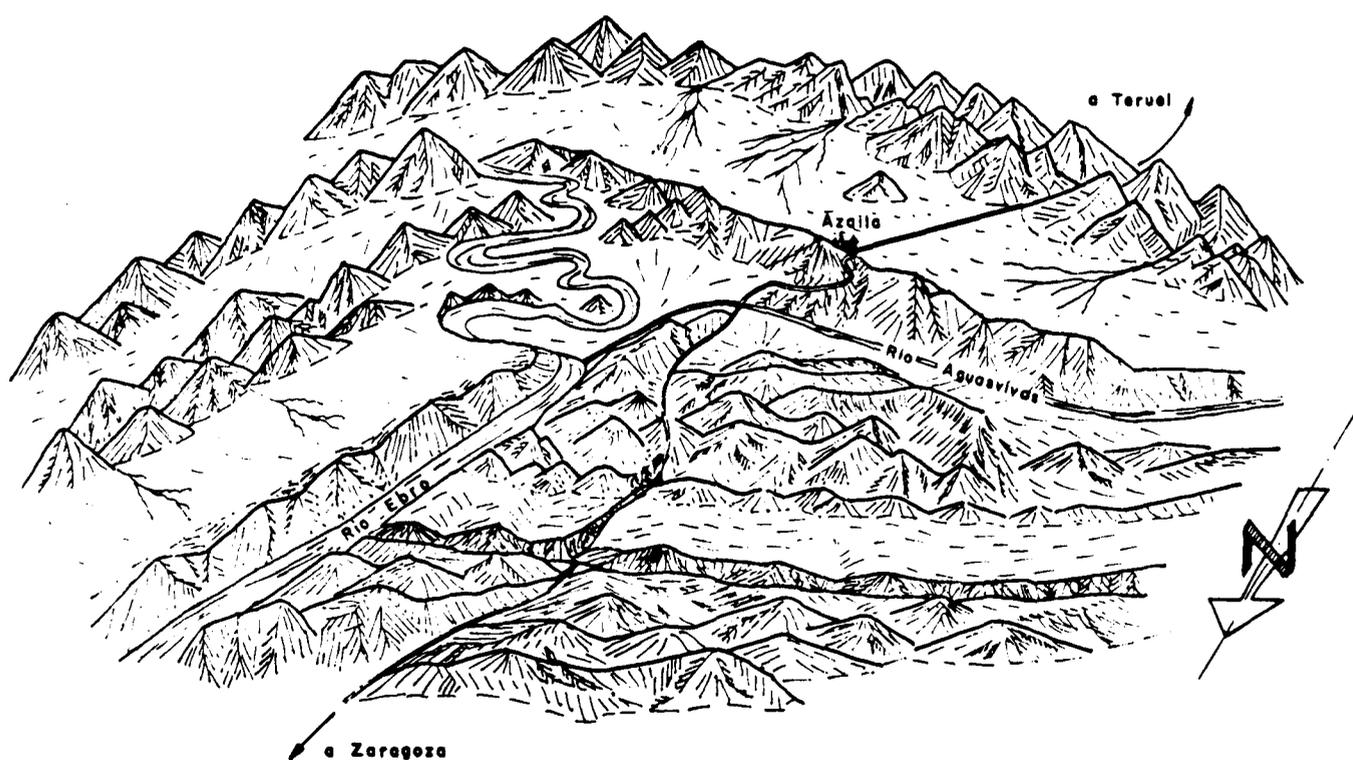
Según el sistema de clasificación climática de Köppen-Geiger, el clima existente dentro de la zona se se calificaría con las letras BSk, que significan:

B: Clima seco, donde la evaporación excede a la lluvia.

S: Clima estepario o semiárido, con precipitaciones anuales entre los 38 y 76 cm.

k: Clima seco y frío con temperatura media anual por debajo de los 18°C.

La morfología del terreno presenta una topografía muy característica, con mesetas, generalmente coronadas por calizas, de estratificación horizontal y también con numerosos barrancos, lo que proporciona un relieve sumamente abrupto que asemeja montañas de reducidas dimensiones (badlands). Estos procesos de erosión son propios de estos climas áridos y sobre todo en terrenos arcillosos o margosos, escasamente protegidos por la vegetación, como lo son los de la zona.



Por todo el oeste del área estudiada se desarrolla un potente glacis cuaternario que recubre a los sedimentos terciarios, suavizando el relieve y que dificulta la observación de los afloramientos de alabastro e incluso su posible explotabilidad a cielo abierto.

V.- GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

V.- GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se halla enclavada en el Sector Central o Aragón dentro de la Cuenca Terciaria del Ebro (NE de España), que conforma una cuenca continental endorreica de forma trapezoidal y de unos 62.000 Km² de extensión (Fig.16). Limita al norte con los Pirineos, al este con la Cordillera Costero-Catalana y al sur y suroeste con la Cordillera Ibérica.

El Sector Central de la Cuenca del Ebro, que prácticamente engloba a la Comunidad de Aragón, se caracteriza (Quirantes, 1978) por la subhorizontalidad de los estratos y las amplias estructuras de plegamiento que les afectan, con buzamientos entre 2 y 4° de promedio, y cuyos ejes siguen unas directrices paralelas al curso actual del río Ebro.

Los materiales depositados en el Sector Central del valle del Ebro pertenecen, en su mayor parte, al Oligoceno y al Mioceno, mientras que la sedimentación química acontecida es fundamentalmente de naturaleza sulfatada y típica de un medio sedimentario de tipo playa-lago (Mandado, 1987), siendo el subambiente sedimentario del área de estudio propio de las llanuras de barro (mud-flats) (Mandado y Tena, 1988).

V.1.- Estratigrafía

En la Cordillera Ibérica existen un conjunto de cubetas intramontañas no interconectadas y rellenadas por materiales terciarios en facies continentales, fundamentalmente detríticas, con escasez de fósiles en las que los análisis estratigráficos clásicos, a pesar de una litoestratigrafía detallada, no resuelven su mutua correlación. Sin

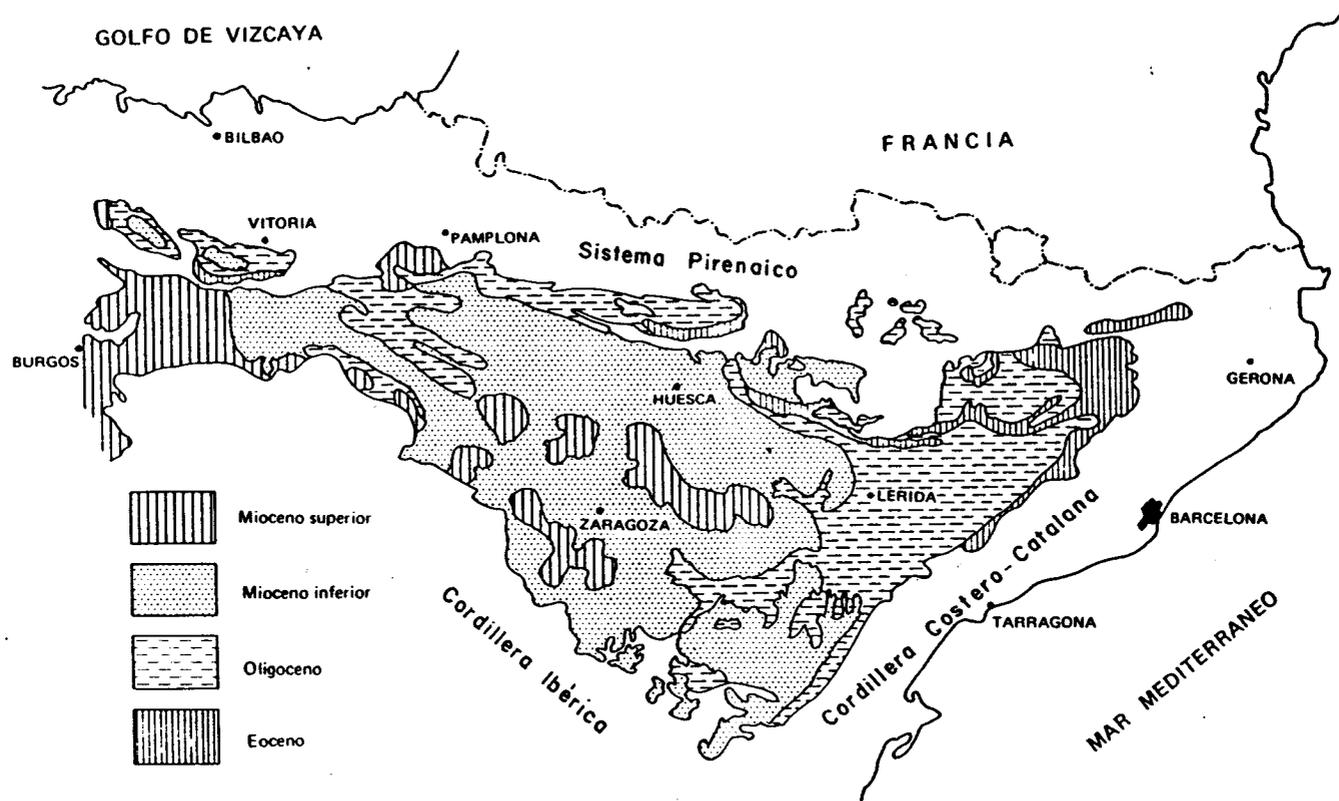


Fig.16.- Esquema cronoestratigráfico del Terciario Continental de la Depresión del Ebro. Tomado del tomo II del Libro Jubilar J.M. Ríos editado por el ITGE.

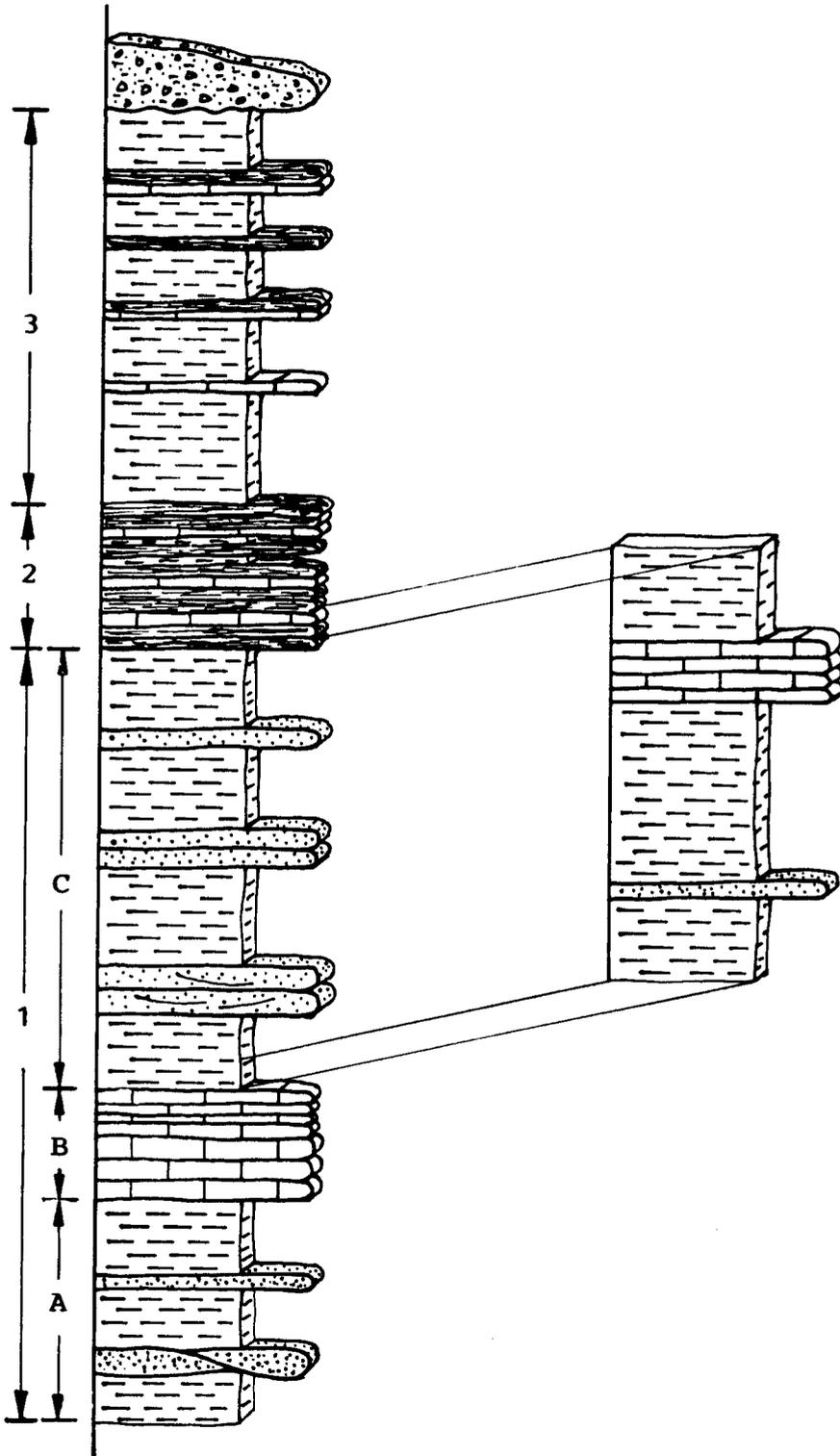
González (op. cit.) presenta una evolución vertical caracterizada por un ciclo basal granodecreciente-granocreciente, al que se superpone una secuencia con evolución o desarrollo poco definida, aunque tendiendo al granodecrecimiento de sus estratos.

La metodología del análisis tectosedimentario tiene como factor principal el reconocimiento y definición de las rupturas sedimentarias, que son las que delimitan las UTS. Así, en los márgenes de la Cuenca del Ebro la discordancia sedimentaria Oligoceno-Mioceno es clara, sin embargo esa ruptura es más difícil de localizar cuando, hacia el centro de la Cuenca dicha ruptura, se manifiesta como continuidad estratigráfica. En Megías (1982), González et al., (1988) y Pardo et al., (1989) se pueden consultar las bibliografías básicas que afectan al análisis tectosedimentario de la Cuenca del Ebro y su utilidad como correlación entre cuencas.

En la actualidad se están llevando a cabo estudios mineralógicos en la Cuenca del Ebro que complementan los análisis tectosedimentarios y que pueden constituir una herramienta de apoyo muy importante (González López et al., 1990; González Martínez et al., 1986).

La columna estratigráfica general de la zona de estudio se refleja en la Figura 17 y la hemos resumido en tres tramos. Desde el punto de vista cronoestratigráfico, y como se ha señalado anteriormente, parece ser que nos encontramos en la parte más alta de la UTS: T₄ (Oligoceno Superior) (González, 1989).

* Tramo 1. - La parte basal de este tramo (1A) (Fig. 17) está constituida por lutitas versicolores, con areniscas ocre-amarillentas y delgados bancos (10-20 cm) de calizas grises, con algunos episodios evaporíticos (yesos secundarios) (Fig. 18).



Cambio lateral de facies de la columna general, en los alrededores del Barranco de Lopín y Velilla de Ebro.

Fig.17

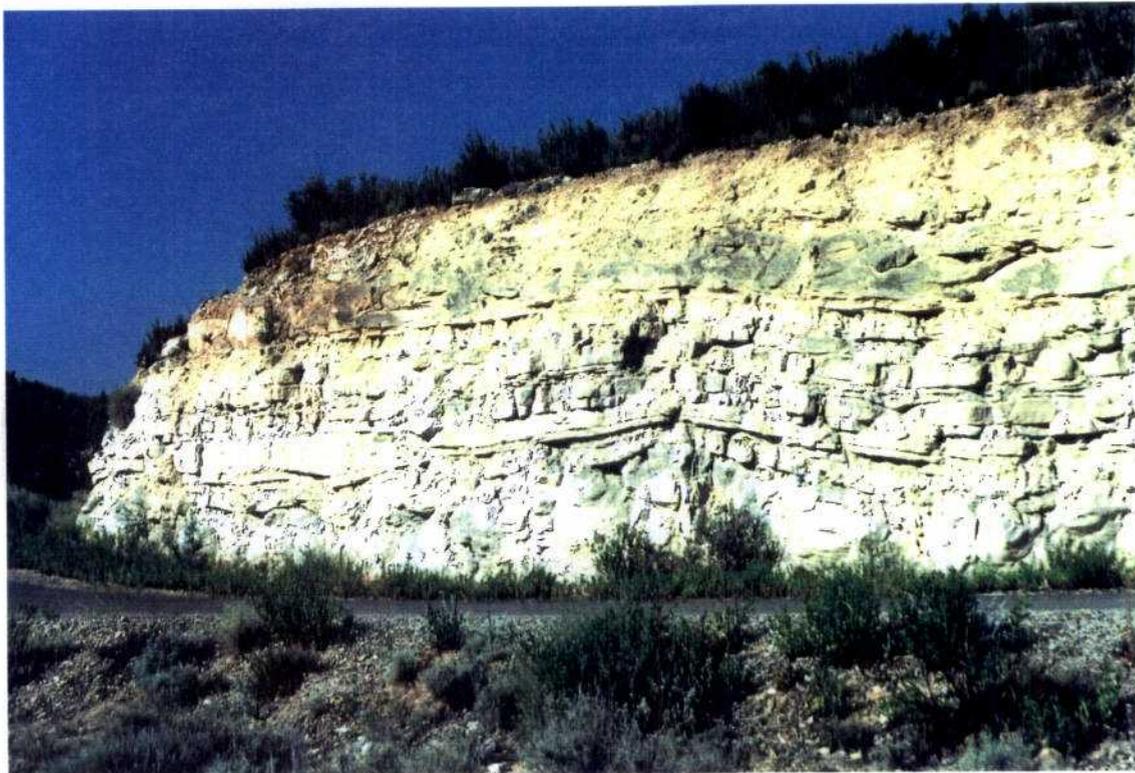


Fig.18.- Foto tomada cerca de la central térmica de Escatrón, en la que se pueden observar los yesos, en la base y deformando a los estratos suprayacentes, los bancos de caliza y las areniscas. El corte del talud es de unos cinco metros.

Las lutitas se presentan en potencias de 30 a 90 cm y poseen frecuentemente carbonatos. Las areniscas poseen laminación cruzada interna y la morfología de los cuerpos arenosos es de tipo ondulado con potencia entre los 0,5 y los 1,50 m (Fig.19).

Por encima de este tramo 1A descansa otro tramo 1B de unos 15 m de potencia, constituido por calizas cremas (micríticas), fétidas, con cristales de yeso y signos de bioturbación. Presenta intercalados algunos niveles de yesos nodulares alabastrinos y sacaroideos. Este tramo se localiza por todo el margen este del río Ebro, desde el pueblo de Velilla de Ebro hasta las inmediaciones del pueblo de Sástilla.

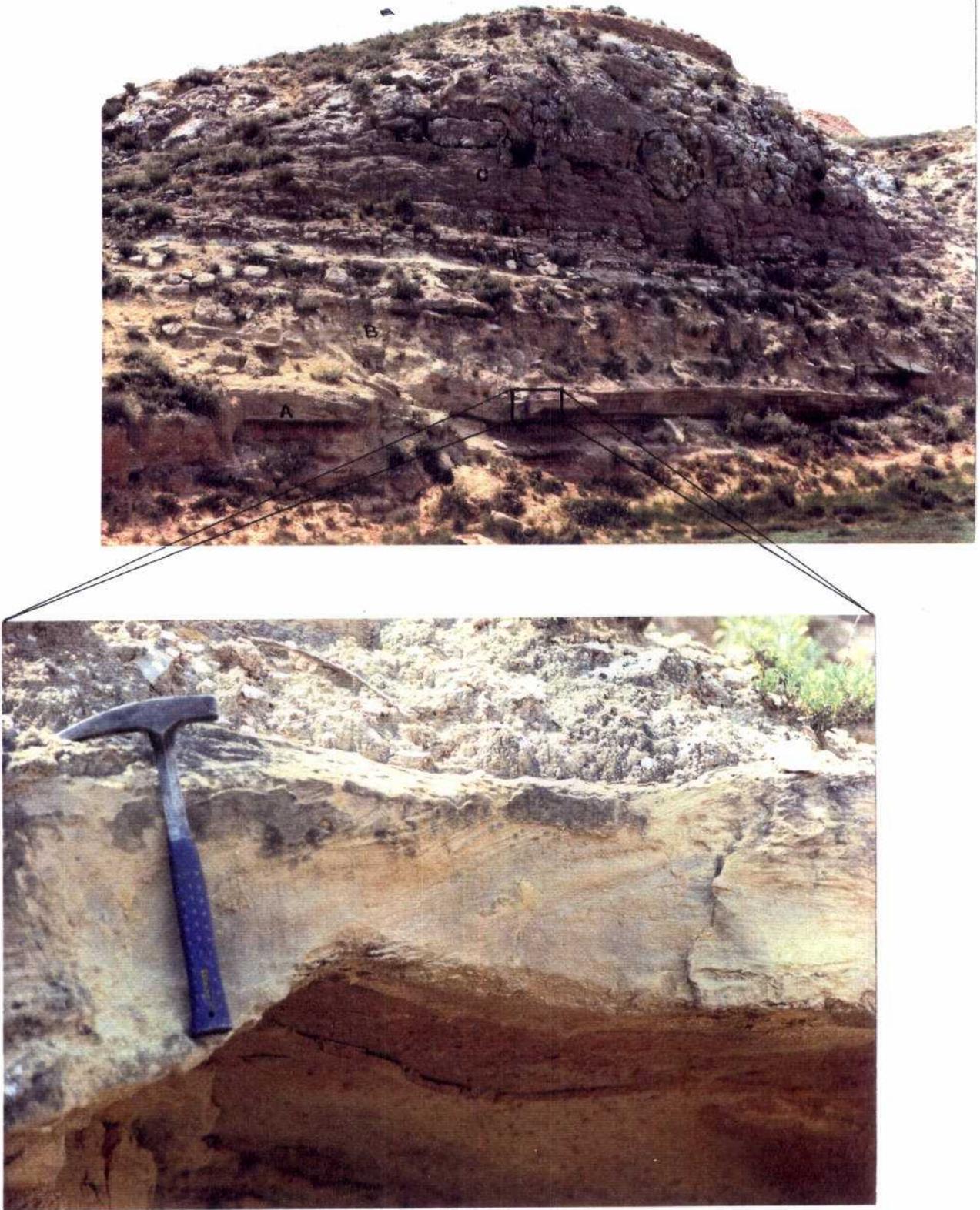


Fig.19.- Niveles tabulares areniscosos (A) con laminación cruzada, en el Barranco de Lopín al pie del sondeo nº7, intercalados entre lutitas (B) y niveles de yesos masivos (C) potentes y con nódulos alabastrinos.

go, en la margen derecha del río Ebro, pasado el puente.

El tramo 1C se caracteriza por la presencia de lutitas carbonatadas rojas con intercalaciones de areniscas cremas, relativamente potentes (hasta los 3 m), con estructuras canaliformes y estratificación cruzada en surco. Este tramo se puede observar principalmente entre las localidades de Escatrón, Sástago y La Zaida, en su parte sur, hasta una cota aproximada de 210-220 m, y evoluciona hacia el NW de manera gradual, transformándose en lutitas rojas potentes, con nódulos de yeso secundario, y niveles de calizas, que se observan en la planicie al norte del pueblo de La Zaida, cortadas por el Barranco de Lopín, y por el este de la ribera del río Ebro, hasta el pueblo de Velilla. Prácticamente son los bancos calizos los que coronan los cerros o mesetas de dichas zonas (Fig.20) .



Fig.20.- Foto en las cercanías del cementerio de La Zaida mostrando los bancos calizos que recubren a los niveles lutíticos rojos.

* Tramo 2.- Este tramo, de unos 20 m de potencia, posee en su conjunto, y en observación de campo, una coloración grisácea y se caracteriza por la alternancia de niveles margoso-limolíticos laminados, de potencias métricas, bancos delgados de calizas, de 20 a 30 cm de espesor, fétidas y con estructuras que parecen concentrar en el interior del estrato la materia orgánica, y lutitas versicolores. En este tramo se hallan diversos niveles de alabastro, uno de los cuales ha sido objeto de explotación en tiempos pasados (Fig.21).



Fig.21.- Corte de parte del Tramo 2 en el frente de una cantera, que extrajo alabastro, al oeste del vértice geodésico Tres Mojones.

* Tramo 3.- Por último, este tramo se caracteriza por el predominio de las lutitas rojas frente a los bancos de calizas y margas limolíticas laminadas que también posee.

Los niveles meganodulares de yesos con textura alabastrina son frecuentes, siendo los verdaderamente interesantes los aflorantes en la carretera, al pie del pueblo de Azaila (Teruel), a una cota aproximada de 240-245 m y que son, a su vez, los que se explotan más al norte por parte de algunas de las empresas que poseen concesiones mineras en la zona (Fig.22).



Fig.22.- Vista del talud de la carretera, al pie del pueblo de Azaila (Teruel), que pone al descubierto los niveles de alabastro que se explotan en otros puntos más al norte de este lugar.

Las calizas, más o menos margosas, conforman niveles tabulares de 0,5 a 1,5 m de potencia, con evidentes signos de bioturbación (perforaciones tubulares) que distorsionan la estratificación, e incluso se pueden observar grietas de desecación y laminaciones algales (estromatolitos) (Fig.23 A y B).

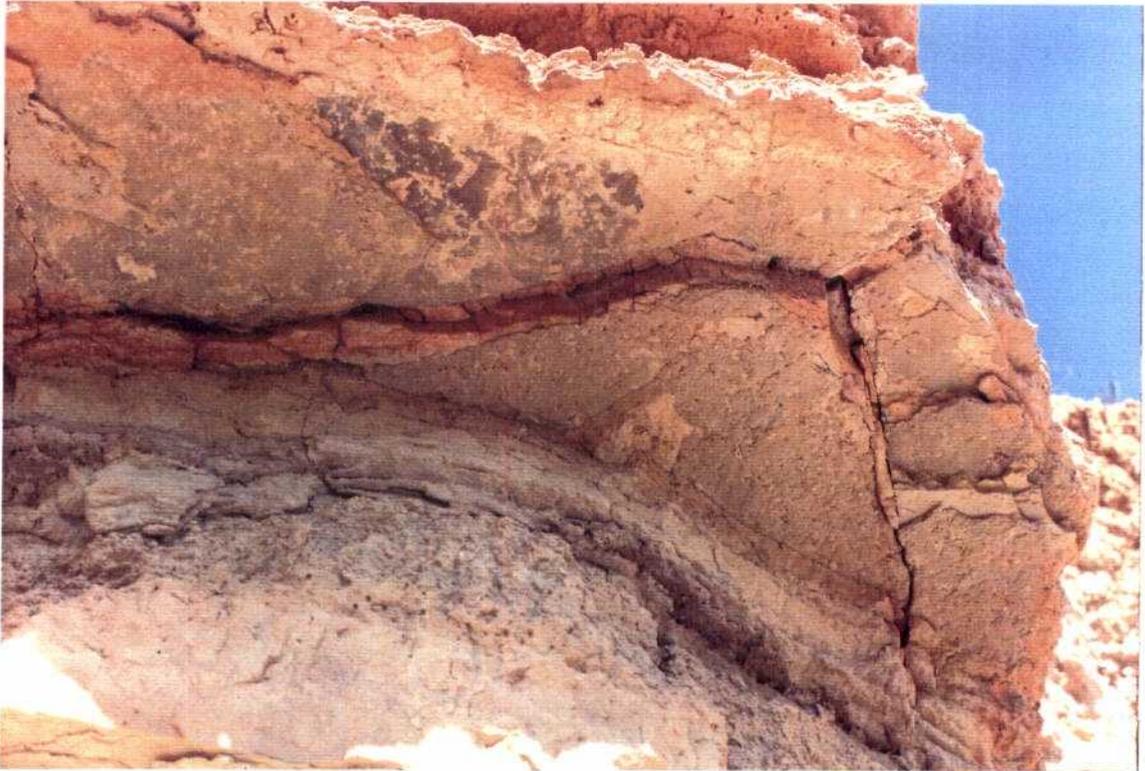


Fig.23 A.- Aspecto de los niveles calizos en los que se pueden apreciar la bioturbación y grietas de desecación en el techo del estrato.

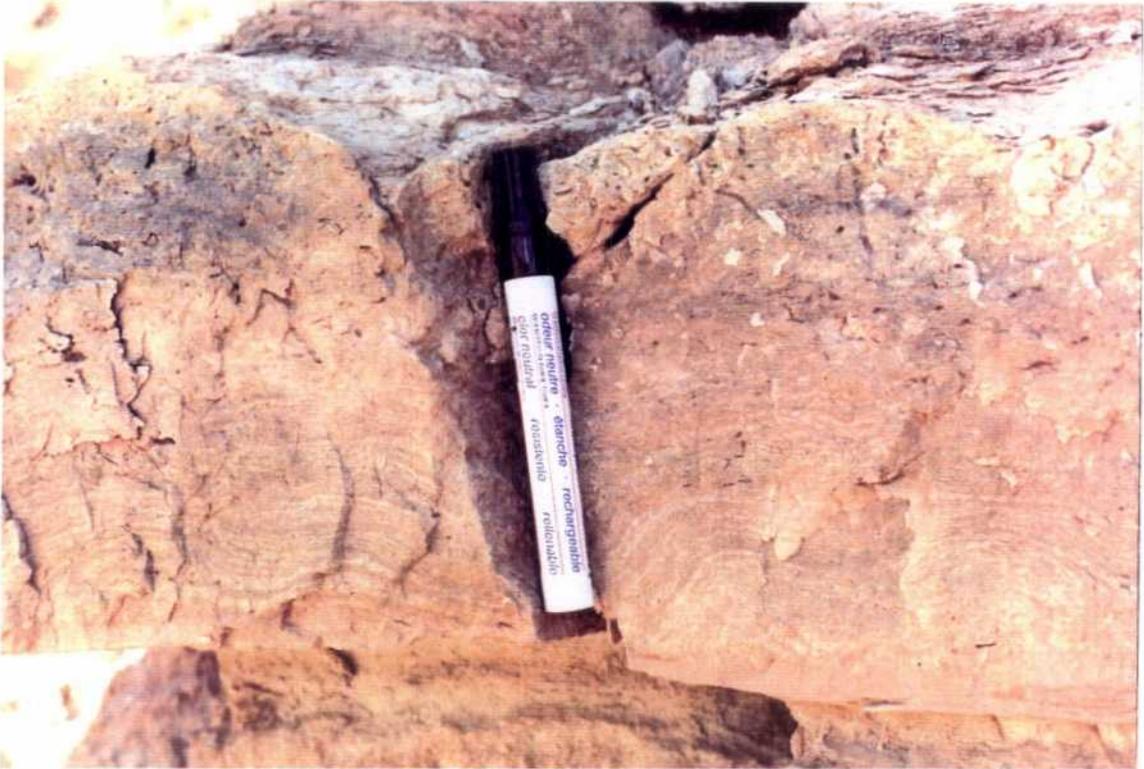


Fig.23 B.- Estrato calizo de unos 15 cm de potencia con estromatolitos y signos de bioturbación a techo.

Todas estructuras sedimentarias confirman que estos materiales se depositaron en un medio sedimentario tipo llanura de barros, corroborando las afirmaciones de otros autores, como Mandado (1987) y González (1989) entre los más representativos.

Sobre los niveles de calizas suele encontrarse un paquete, de hasta 1,5 m de potencia, de margas limolíticas laminadas con nódulos de yeso alabastrino, claramente secundario, en el que se puede observar estratificación cruzada en surco (Fig.24).



Fig.24.- Cantera de HERNA S.L., cerca del sondeo nº2, en la que se aprecia la estratificación cruzada de los niveles margoso-limosos laminados, yacientes sobre estratos calizos.

La secuencia litológica que se aprecia en la Fig.24 es habitual encontrarla, en mayor o menor medida repetida, al ascender en la serie.

Estratigráficamente, en el área de estudio, la columna general es recubierta discordantemente por sedimentos cuaternarios que son desde coluviales, al pie de los barrancos, hasta terrazas y aluviales, en las proximidades del río Ebro (Fig.25). Por otro lado, hay que señalar que un potente glacis cuaternario recubre a los sedimentos terciarios en la parte oeste de la zona investigada.

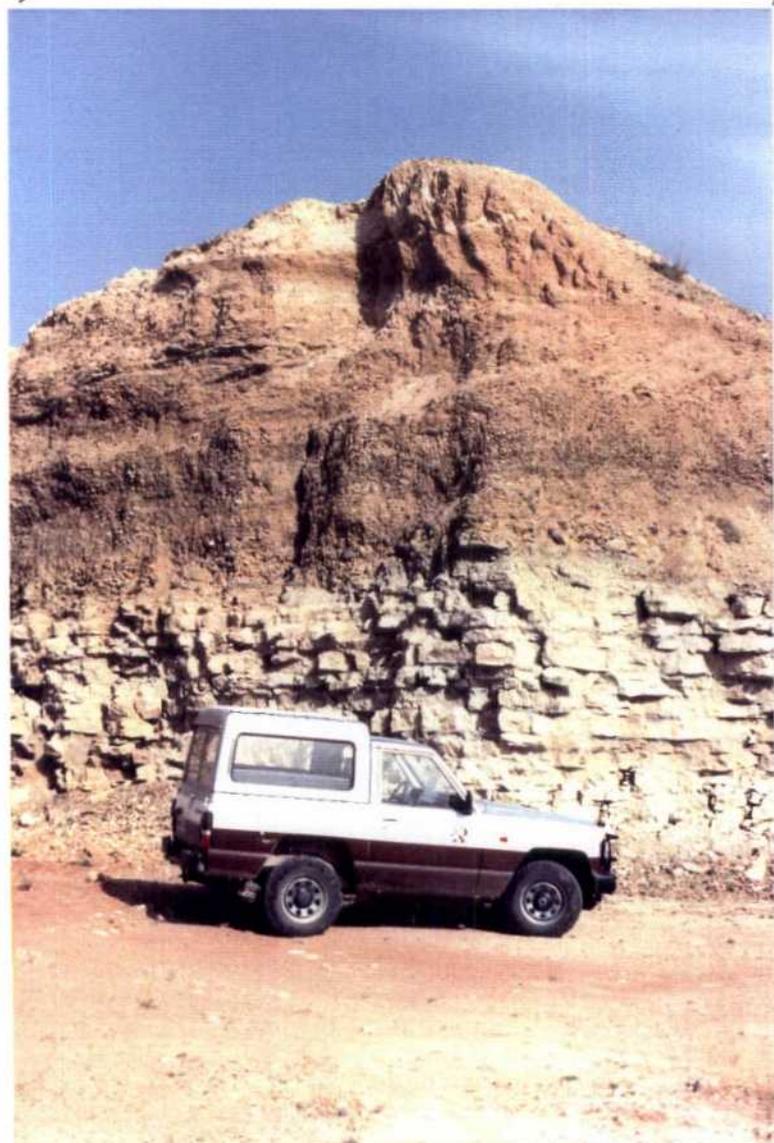


Fig.25.- Terrazas cuaternarias, situadas a una cota aproximada de 180 m sobre el curso actual del río Ebro, fosilizando los niveles terciarios del Tramo 1C. Fotografías tomadas en las canteras existentes en frente de La Zaida (Paraje Sete--nal).

V.2.- Tectónica

La Cuenca Terciaria del Ebro constituye, en su conjunto, un gran bloque hundido limitado por una serie de fracturas de gran entidad regional, por el noroeste con la Falla de Ventaniella o Asturiana que se prolonga con las unidades tectónicas de la Cordillera Ibérica por el sur; al norte limita con las estructuras tectónicas del sistema Pirenaico y por el oeste con la Cordillera Costero-Catalana.

Después de los plegamientos principales de la Orogenia Herciniana tuvo lugar una fracturación postectónica de gran repercusión que unido a la acción de la tectónica kimmérica de movimientos verticales provocaron el alzamiento prácticamente total de la Cuenca, desde el Cretácico Superior, para tomar verdadera entidad en el transcurso del Paleógeno y siendo durante el Mioceno cuando adquiere la categoría de depresión morfológica.

Sobre los materiales paleocenos de la Cuenca del Ebro, distribuidos por todo su borde septentrional, se manifiestan las primeras fases orogénicas alpinas acaecidas durante el Eoceno, que Garrido-Megías (1973) (En Mando, 1987) diferencia en cuatro fases: Fase Cuisiense, Fase Intra-Luteciense, Fase Pre-Bartoniense y Fase Fini-Eocena o fase mayor pirenaica.

El periodo orogénico pirenaico finaliza con la Fase Fini-Oligocena que está separada del Aquitaniense, claramente postorogénico, mediante una discordancia angular (discordancia Pre-Aquitaniense).

Por último, los depósitos miocenos (post-Aquitaniense) se disponen horizontalmente por todo el valle del Ebro, estando afectados dichos materiales por pequeños movimientos isostáticos y algunas deformaciones muy locales.

En el área de estudio se observa una horizontalidad en los estratos prácticamente total. Sólomente en la orilla este del río Ebro, frente al pueblo de La Zaida, se aprecian algunas fracturas, de pequeño salto, y algunas ondulaciones suaves de los estratos.

VI.- SONDEOS Y COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

VI.- SONDEOS Y COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

A lo largo de esta investigación se ha llevado a cabo una campaña de sondeos, que comenzó a principios de enero de 1990 y terminó a finales de mayo del mismo año, como una herramienta básica para la estimación del potencial de alabastro que se acumula en la zona y para evaluar a que cota o cotas se encuentran los niveles de posible explotación.

Se realizaron nueve sondeos, escalonados en altura de este a oeste, desde los 340 m de cota inicial de perforación (sondeo 1) hasta los 200 m o altura a la que se situó el sondeo 9.

La perforación se realizó con una sonda DIAMEC-250 con sistema de avance hidráulico y un motor Diter tipo 325/2 de 41 CV de potencia a 2.400 rpm (Fig.26). La autonomía de la sonda es de 200-250 m, y se utilizaron coronas de widia y diamante. El diámetro de perforación empleado fue de 56 mm, en los primeros metros sondeados, y de 46 mm posteriormente. Estos diámetros se corresponden con unos diámetros de testigo de 52 y 42 mm respectivamente.

En total, se perforaron unos 346 m de testigo con una media de perforación por sondeo de unos 40 m aproximadamente. En la Figura 27 se puede contemplar la distribución geográfica de los sondeos realizados.

Las cotas de perforación de cada sondeo, así como la elevación sobre el terreno en todo momento, fueron obtenidas empleando un altímetro de bolsillo Thommen (modelo Everest) con una exactitud de ± 10 m, usando el instrumento de manera justa. Se ha intentado corregir la variabilidad de medida del aparato, a lo largo de la jornada de trabajo, efectuando oportunos controles periódicos en los vértices geodésicos: Azaila (274 m) y Tres Mojones (308 m).

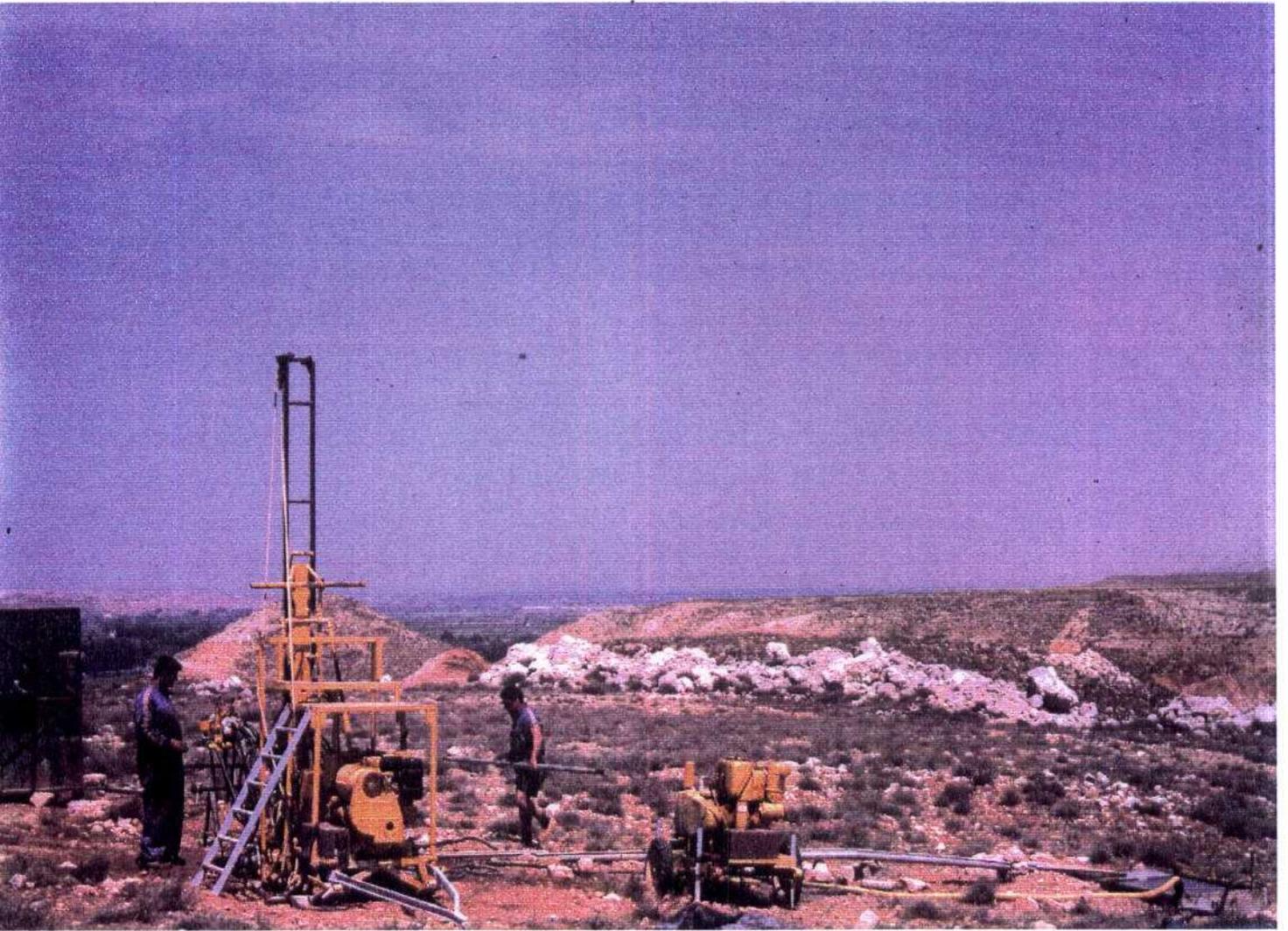
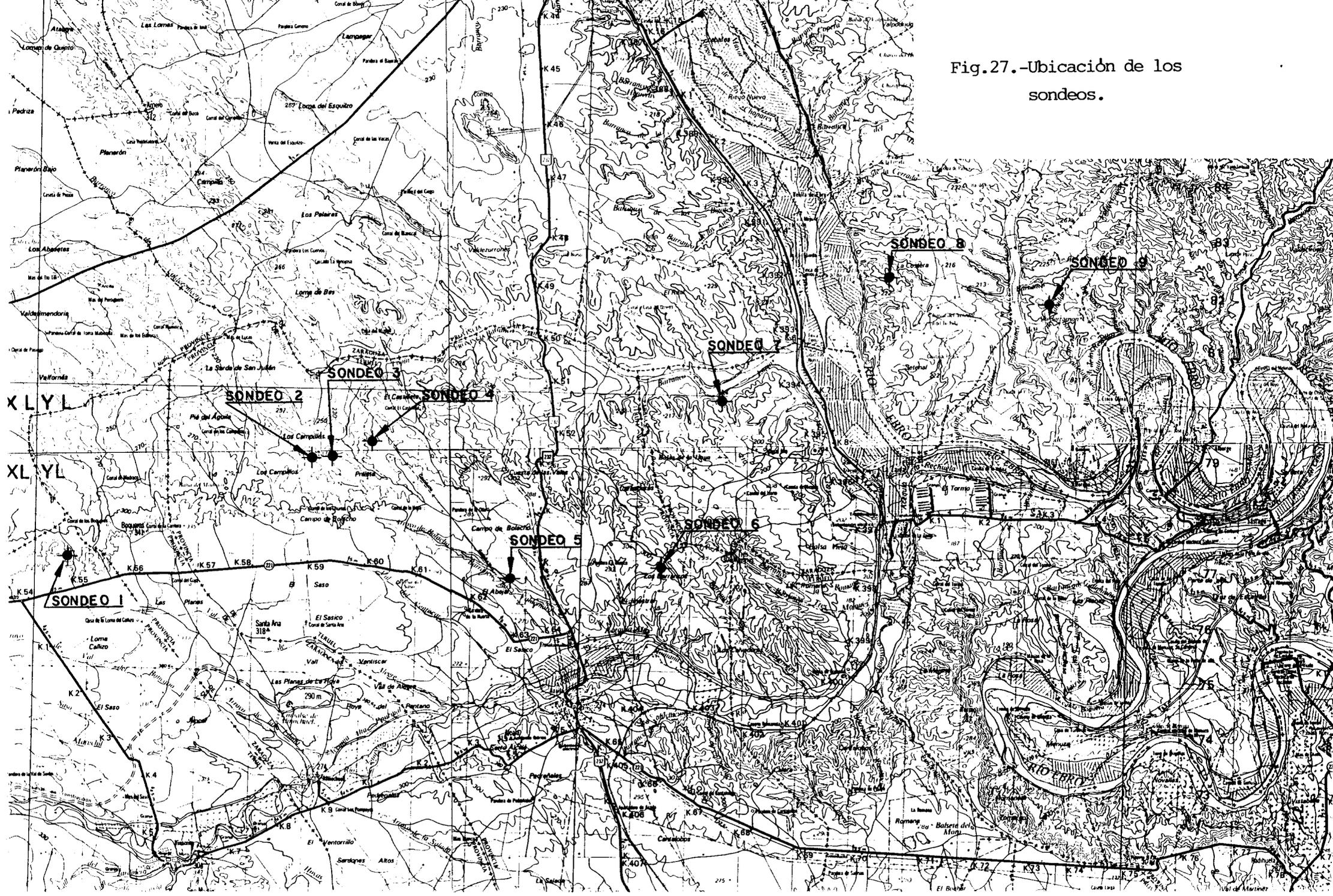


Fig.26.- Fotografía que muestra la sonda DIAMEC-250 empleada en la realización de la campaña de sondeos de la zona. Aquí nos encontramos en el emplazamiento del sondeo 8, en las cercanías de Velilla de Ebro.

Fig.27.-Ubicación de los sondeos.



El sondeo n^o1 (Fig.28) se realizó a una cota aproximada de 340 m y perforó 31,27 m de sedimento.No se encontraron niveles de alabastro, aunque si diversos paquetes nodulares de yesos sacaroideos, que los canteros conocen vulgarmente como yeso "cristal", no explotables.

Todo el sondeo, en conjunto, es lutítico rojizo salvo un nivel arenoso de unos 2,5 m de potencia de areniscas rojizas con nódulos de yeso.

El sondeo n^o2 (Fig.29), a una cota de perforación de 255 m, está situado a una de las alturas óptimas donde se explotan los niveles de alabastro.

Nada más iniciarse el sondeo, de 30,19 m de profundidad, se corta un nivel de alabastro (35 cm de potencia), con textura no muy homogénea, existiendo otro paquete alabastro de interés (25 cm) a unos 17 m de profundidad.

En este sondeo se ponen de manifiesto, por vez primera, los niveles limolíticos calcáreos grises, finamente laminados, a unos 6 m de profundidad, y que serán constantes en los próximos sondeos, realizados en cotas muy similares al de el presente.

El sondeo n^o3 estuvo enclavado a techo del nivel de extracción del alabastro, en la cantera de Herna S.L., a una cota de unos 260 m y que alcanzó una profundidad de 43,30 m.Cortó dos paquetes de alabastro, uno, a los 14 m, de 43 cm de potencia, y que era el que se estaba explotando en el momento de realizar esta investigación, y otro, a los 37 m de profundidad, de 25 cm de potencia.

En la Figura 30 se puede contemplar la columna estratigráfica del sondeo n^o3 .

El sondeo n^o4 (Fig.31), por su situación en altura (265 m) y por la profundidad de perforación (28,65 m),

sólamente cortó un nivel de alabastro (40 cm) a unos 9 m de profundidad y que está relacionado con los niveles alabastrinos descritos en los anteriores sondeos (n^{ros} 2 y 3). Alrededor de los 23 m de profundidad aparece otro paquete nodular alabastrino de unos 20 cm de espesor.

El sondeo n^o5 (Fig. 32), realizado en la concesión Teresa (NALSA S.A.), es interesante en cuanto al número de capas de alabastro de cierta entidad. Desde los 3 m de profundidad hasta los 23,80 m se encuentran unos cinco niveles de alabastro, desde unos 20 cm de potencia hasta los 40 cm, a los 18,57 m de profundidad.

El sondeo n^o6 (Fig. 33) no ha resultado muy satisfactorio y se encuentra en altura (290-295 m) por encima de los n^{ros} 2, 3, 4 y 5. Los niveles de alabastro son muy escasos, observándose uno a 1,67 m de profundidad, que explotó la empresa NALSA S.A., y cuya capa es nombrada por los canteros como "Azaila Alta".

Existen, además, dos capas nodulares de yeso con impurezas arcillosas, aspecto masivo y coloración gris oscura, de unos 70-80 cm de potencia, a 4,63 m y 27,64 m de profundidad, que si bien no poseen las características físicas propias del alabastro, su evolución lateral, teniendo en cuenta la complejidad genética formacional del alabastro, bien pudiera tender hacia dicho mineral. El hecho contrario se da en la cantera de Herna S.L., en las inmediaciones de los sondeos n^{ros} 2 y 3. En este último, la capa de alabastro, a unos 15 m de profundidad, posee un aspecto, aunque poco potente, inmejorable, mientras que en el sondeo n^o2, situado a unos 30 m del anterior, la capa, aparte de adelgazarse, está bastante nodulizada y no es posible su aprovechamiento industrial.

Todo esto nos indica que es preciso ser muy cautos a la hora de prolongar, lateral o frontalmente, una explota-

ción de las capas de alabastro, siendo conveniente la realización de sondeos cortos en profundidad para tener que evitar el desmonte del terreno que recubre a la capa o capas de alabastro y obviar sorpresas desagradables.

El sondeo nº7 (Fig.34), a unos 200 m de cota de perforación, encabeza a un grupo de sondeos situados en una cota similar y localizados en el triángulo: Barranco de Lopín, Velilla de Ebro y Alforque.

En este sondeo, la potencia de los nódulos de alabastro está más desarrollada; concretamente hay un nivel de unos 1,10 m de potencia, a 28,22 m de profundidad, que es el que explota la Sociedad Aragonesa del Alabastro, dentro de la concesión minera Mundina, al borde del Barranco de Lopín.

Se puede indicar, como hecho significativo para este sondeo, la aparición de un nivel de alabastro de unos 31 cm de potencia de color rojizo-rosado. Precisamente por los alrededores de la zona sondeada pueden ser observados niveles de yesos, de aspecto masivo, de colores rojizos, posiblemente por la circulación de aguas subterráneas cargadas en hierro.

El sondeo nº8 (Fig.35) es el de mayor profundidad (60,73 m) de todos los realizados y posee paquetes de alabastro de 32 a 50 cm de potencia. En este sondeo, a muro, se aprecian niveles de areniscas, de visu, que en realidad y petrográficamente son calcarenitas yesíferas.

Para terminar la tanda expositiva de los sondeos efectuados hay que citar al sondeo nº9 (Fig.36).

Por su proximidad zonal al citado anteriormente, posee niveles de alabastro ciertamente correlacionables. El nivel de más interés se encuentra a los 12 m de profundidad, de una cota de perforación de partida de 200 m, y posee

PROYECTO:
"ESTIMACION DEL POTENCIAL DE ALABASTRO EN EL VALLE DEL EBRO"

DIBUJADO: L. A. Díaz
SONDEO N° 2

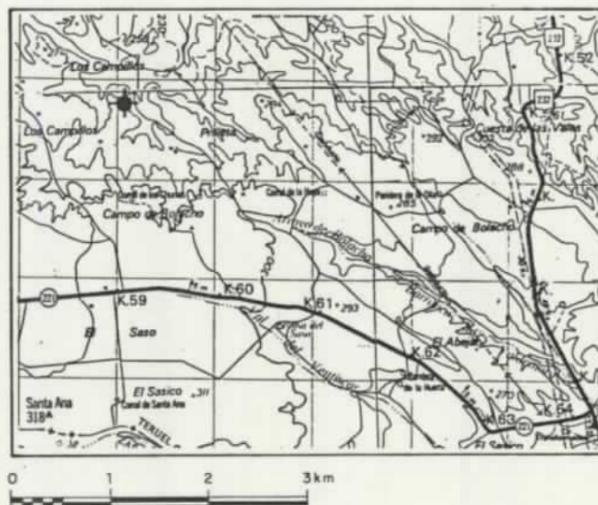
FECHA: Nov. 1990

AUTOR: V. Calderón
L. A. Díaz

ESCALA: 1/100

DATOS TECNICOS:
Dirección:
Inclinación: Vertical
Profundidad: 30,19 m

COORDENADAS UTM (1/50.000)
X: 705,05
Y: 4578,75
Z: 255 m
Hoja N°: 440

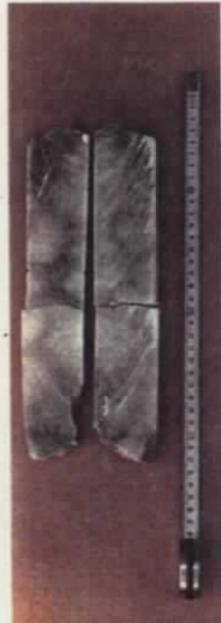


SIMBOLOS LITOLÓGICOS

- Areniscas
- Limolitas arcillosas / arenoso-arcillosas
- Lutitas
- Limolitas calcáreas
- Margos
- Calizas
- Calizas margosas
- Alabastro
- Yeso

OTROS SIMBOLOS

- ESTRATIFICACION CRUZADA PLANAR**
- Media escala
 - Gran escala
- ESTRATIFICACION CRUZADA EN SURCO**
- Media escala
 - Gran escala
 - Estratificación físer
 - Estratificación lenticular
 - Laminación ondulada
 - Laminación paralela
- OTROS SIMBOLOS**
- Lámina cruzada
 - Huellas de carga
 - Nódulos
 - Castras ferruginosas
 - Granoclasicación
 - Cantos blandos
 - Ripples
 - Laminación convoluta
 - Nódulos de yeso
 - Bioturbación
 - Gasterópodos
 - Lamelibranquios
 - Fauna en general
 - Briznas carbonosas (escasas)
 - Troncos o vegetales carbonizados



PROFUNDIDAD EN METROS	TESTIGO RECUPERADO %	GRAFICO	COLUMNA LITOLÓGICA	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FAUNA Y FLORA	DESCRIPCION LITOLÓGICA	DIÁMETRO EN CM.	N° MUESTRA	Análisis Químicos (TODO-UNO)										UNIDAD CRONOLÓGICA LITOLÓGICA			
								SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅				
1,57	80				Lutitas rojas																
1,92					30 cm Alabastro blanco (nivel explotado) Limolitas margosas grises a techo (30 cm) y limolitas arcillosas rojas con yeso a muro. Calizas micríticas grises crema fracturadas																
2,89	100																				
3,38	100																				
4,26																					
4,55																					
4,90	100				Lutitas rojas, fundamentalmente, y grises. Nivel de margas grises y un nivel alabastrino amarillento (10 cm). A muro se aprecian nódulos yesíferos. El contenido carbonatado de las lutitas aumenta hacia techo.																
6,40	100																				
7,00																					
7,80	100				Limolitas calcáreas grises (a techo) y con más contenido en limo a muro. Laminaciones paralelas y onduladas e intercalaciones nodulares yesíferas.																
9,24	100																				
10,54																					
10,74	100				Margas limolíticas grises y rojizas con laminaciones lenticulares y paralelas. Nód. yesífer.																
12,13	100																				
12,83																					
13,23					Limolitas calcáreas grises laminadas.																
14,28					Lutitas rojas																
15,25	100				Limolitas calcáreas grises laminadas																
16,80					Limolitas arcillosas rojas con pasadas grises más o menos arenosas, laminadas y con yeso fibroso.																
17,20					Margas grises limolíticas con laminaciones																
17,45					25 cm Alabastro blanco muy puro																
18,18	100																				
20,58					Areniscas de grano fino y limolitas, alternando en tramos rojos y grises con abundante laminación interna.																
21,18	100																				
21,88					Lutitas rojas con yeso masivo grisáceo																
22,58																					
24,16	100				Tramo margoso limolítico grisáceo con areniscas intercaladas, de grano fino, alternando con niveles limosos. La laminación es abundante a lo largo del tramo y hay intercalaciones nodulosas de yeso (alabastrino a 25,20 m, 15 cm, y a 28,50 m, 10 cm). A los 27,60 m hay un nivel carbonoso de 5-7 cm.																
25,17	100																				
28,17	100																				
30,19					Lutitas rojas con materia orgánica a techo																

U.T.S.: T4 Oligoceno Superior (parte sup.)

PROYECTO:
"ESTIMACION DEL POTENCIAL DE ALABASTRO EN EL VALLE DEL EBRO"

DIBUJADO:
L. A. Díaz

SONDEO Nº 4

FECHA:
Nov. 1990

AUTOR:
V. Calderón
L. A. Díaz

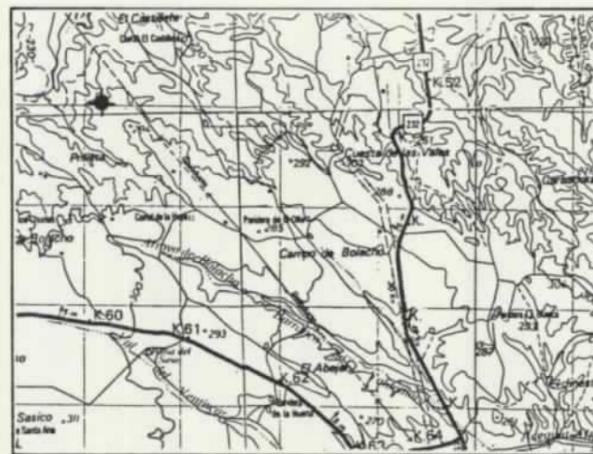
ESCALA:
1/100

DATOS TECNICOS:

Dirección:
Inclinación: **Vertical**
Profundidad: **28,65 m**

COORDENADAS UTM (1/50.000)

X: 706,20
Y: 4579,05
Z: 265 m
Hoja Nº: 412



SIMBOLOS LITOLOGICOS

	Areniscas		Calizas
	Limolitas arcillosas / arenosa-arcillosas		Calizas margosas
	Lutitas		Alabastro
	Limolitas calcáreas		Yeso
	Margas		

OTROS SIMBOLOS

ESTRATIFICACION CRUZADA PLANAR			
	Media escala		Lámina cruzada
	Gran escala		Huellas de carga
ESTRATIFICACION CRUZADA EN SURCO			Nódulos
	Media escala		Fe
	Gran escala		Costras ferruginosas
	Estratificación flaser		Granoclasificación
	Estratificación lenticular		Cantos blandos
	Laminación ondulada		Ripples
	Laminación paralela		Laminación convoluta
			Nódulos de yeso
			Bioturbación
			Gasterópodos
			Lomelibranquios
			Fauna en general
			Briznas carbonosas (escasas)
			Troncos o vegetales carbonizados



PROFUNDIDAD EN METROS	TESTIGO RECUPERADO %	GRAFICO	COLUMNA LITOLOGICA	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FAUNA-FLORA	DESCRIPCION LITOLOGICA	DIAMETRO EN mm.	Nº MUESTRA	Análisis Químicos (TODO-UNO < 12 μm) %										
								SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	UNIDAD CROMATOGRAFICA
1,26	100				Lutitas limosas rojas con carbonato y un nivel de yeso alabastrino (15cm) con textura turron (II) bastante sucio.	52	-54-1	45,8	15,4	5,63	6,42	0,70	0,06	3,97	1,53	7,27	13,2	
1,64	100							49,2	19,9	7,45	0,35	0,82	0,03	4,76	0,64	6,87	9,87	
2,14																		
3,36	100				Limolitas calcáreas grises con laminación interna y nódulos yesíferos (Ø<5 mm).													
3,74																		
4,70	100				Tramo margoso calcáreo de color gris crema con gasterópodos y porosidad moldica debida a la disolución de los cristales de yeso que posee la caliza.													
5,30	100																	
6,02	100				Lutitas verdes, a techo, y rojas, a muro, con slickensides y bioturbación.													
7,12	100				Calizas crema con gasterópodos y briznas carb.													
7,57																		
9,08	100				Lutitas algo limosas rojas con escasos nódulos de yeso en la base.		-54-2	48,8	17,3	6,83	3,21	0,80	0,05	4,04	1,67	7,04	10,1	
9,45					40% Alabastro con abundantes fracturas e impuro			48,1	20,4	8,17	0,27	0,83	0,04	4,71	0,74	7,54	9,15	
10,50	100				Lutitas rojas con intercalaciones de yeso alabastrino (tex. turron II) y margas a techo.													
10,75																		
11,20					Calizas micríticas grises con briznas carbon.		-54-3	45,0	18,9	6,88	4,42	0,72	0,06	5,11	1,44	5,61	11,7	
11,84	100							47,9	22,1	8,23	0,28	0,84	0,04	5,88	0,49	4,18	10,0	
12,87	100				Tramo lutítico rojo y margoso verdoso a techo. Hay niveles de alabastro (23 cm y 10 cm) con textura nodulosa. También se observa yeso fibroso.													
14,52	100						-54-4	47,7	20,9	7,58	2,93	0,82	0,04	5,00	1,02	4,03	9,52	
15,30								48,8	23,4	8,47	0,27	0,91	0,04	5,80	0,62	3,72	7,85	
15,79	100																	
17,05	100				Limolitas calcáreas grises con diversos episodios evaporíticos aislados.		42											
19,20																		
19,60					Margas grises y rojas algo limosas.													
19,93	100				Lutitas limosas rojas con escasos nódulos de yeso.		-54-5	43,5	15,3	6,20	6,64	0,58	0,05	4,21	1,42	8,09	13,9	
21,60								48,3	19,3	8,03	0,45	0,71	0,03	5,11	0,54	6,98	10,4	
22,70	90				Limolitas calcáreas grises con yeso.													
23,70					Lutitas limosas ligeramente laminadas y con escaso carbonato.		-54-6	42,1	17,1	6,22	6,49	0,66	0,09	4,37	1,34	6,74	14,7	
24,30					Margas limolíticas con laminación gris y roja. Yeso nodular alabastrino (20cm) a techo.			49,9	22,5	8,23	0,28	0,84	0,04	5,52	0,56	3,73	8,25	
25,64	100				Lutitas rojas con cierta laminación interna, que ganan carbonato hacia techo. Yeso fibroso.		-54-7	46,0	20,2	6,54	5,01	0,78	0,04	4,72	0,89	4,14	11,4	
26,20								49,7	23,3	7,77	0,22	0,90	0,04	5,37	0,51	3,55	8,47	
27,55					Limolitas calcáreas grises laminadas con intercalaciones de yesos alabastrinos (pot. máx. 15cm).													
28,65					Limolitas margo-arcillosas grises y rojas con laminación interna.													

U.T.S.: T4 Oligoceno Superior (parte sup.)

PROYECTO:

"ESTIMACION DEL POTENCIAL DE ALABASTRO EN EL VALLE DEL EBRO"

DIBUJADO: **L. A. Díaz** SONDEO N° 5

FECHA: **Nov. 1990**

AUTOR: **V. Calderón L. A. Díaz**

ESCALA: **1/100**

DATOS TECNICOS:

Dirección: **Vertical**
Inclinación: **Vertical**
Profundidad: **30,87 m**

COORDENADAS UTM (1/50.000)

X: **708,75**
Y: **4576,60**
Z: **245 m**
Hoja N°: **441**



SIMBOLOS LITOLOGICOS

- Areniscas
- Limolitas arcillosas / arenoso-arcillosas
- Lutitas
- Limolitas calcáreas
- Margas
- Calizas
- Calizas margosas
- Alabastro
- Yeso

ESTRATIFICACION CRUZADA PLANAR

- Media escala
- Gran escala

ESTRATIFICACION CRUZADA EN SURCO

- Media escala
- Gran escala

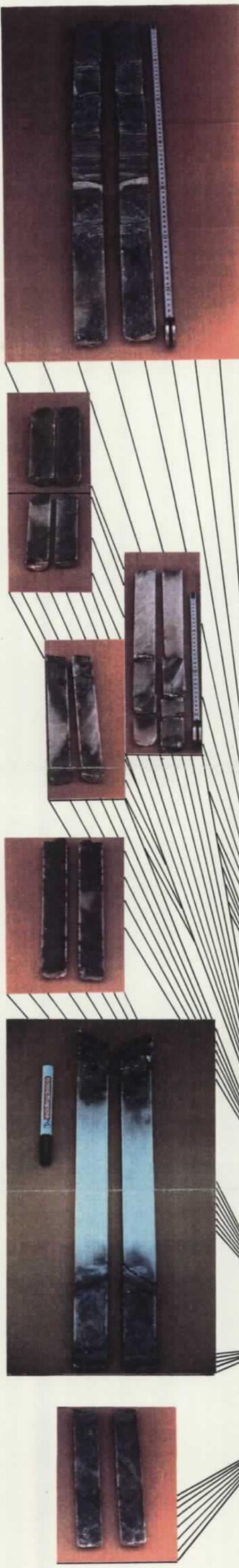
- Estratificación flosor
- Estratificación lenticular
- Laminación ondulada
- Laminación paralela

OTROS SIMBOLOS

- Lámina cruzada
- Huellas de carga
- Nódulos
- Costras ferruginosas
- Granoclificación
- Cantos blandos
- Ripples
- Laminación convoluta
- Nódulos de yeso
- Bioturbación
- Gasterópodos
- Lamelibranchios
- Fauna en general
- Briznos carbonosos (escasos)
- Troncos o vegetales carbonizados

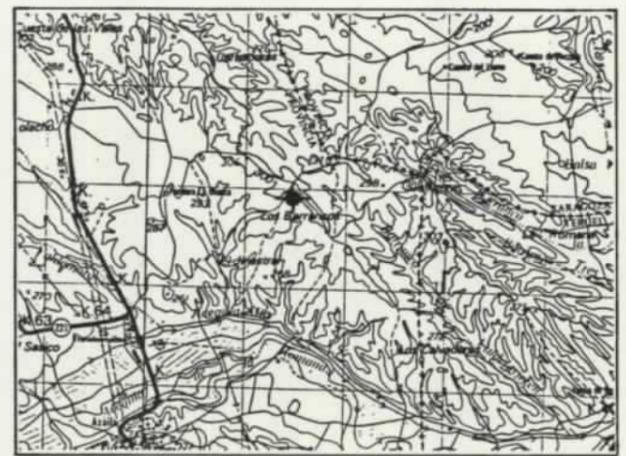
PROFUNDIDAD EN METROS	TESTIGO RECUPERADO %	GRAFICO	COLUMNA LITOLOGICA	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FAUNA Y FLORA	DESCRIPCION LITOLOGICA	DIAMETRO EN mm	N° MUESTRA	Análisis Químicos (TODO-UNO <12 μm) %										UNIDAD CRONOESTRATIGRAFICA		
								SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅			
1,25	80				Lutitas rojas	52														
1,92					Calizas grises, margosas a muro, con restos de gasterópodos y signos de bioturbación.															
2,35	100				Lutitas rojas con cristallitos de yeso (3 mm) dispersos. Hay pasadas alabastrinas centimétr.															
3,19					23cm Alabastro blanco fracturado.															
3,42	100				Limolitas margosas grises, yesíferas a techo, más arcillosas y rojas a muro.															
4,42					Calizas grises crema.															
4,77	100				Lutitas grises (a techo) y rojas con niveles yesíferos nodulares escasos (a muro).															
6,05	100																			
7,18					Calizas grises micríticas.															
7,48	100				Lutitas rojas															
8,18					Calizas grises margosas con láminas de mat. or.															
8,58																				
9,00	100				Limolitas calcáreas grises verdosas con abundantes laminaciones internas y restos carbonosos milimétricos, a techo. Hay niveles yesíferos a muro.															
10,44	100																			
11,93	100																			
12,84					Calizas margosas de color pardo rojizo.															
13,04					20cm Alabastro con impurezas y tex. turrón.															
13,44	100				Lutitas rojas con carbonato.															
14,24																				
14,94	100				Limolitas calcáreas grises con nivelillos yesíferos y un nivel alabastrino de 10 cm de pot.															
15,38																				
15,79					Lutitas rojas.															
16,37					Limolitas calcáreas grises laminadas.															
16,57					28cm Alabastro con tex. nodular en turrón (II) grises.															
17,52	100																			
18,57					Margas rojas con mat. orgánica y bioturbación.															
19,03																				
19,40					40cm Alabastro blanco.															
19,63					28cm Alabastro.															
20,23	100																			
23,61	100				Limolitas calcáreas grises con laminación frecuente. Hay nódulos yesíferos y se observan inyecciones de yeso fibroso.															
23,80																				
24,08					Yeso no translúcido con tex. turrón (II).															
25,28																				
25,60					35cm Alabastro blanco (buen aspecto).															
26,61	100																			
26,90					Limolitas calcáreas grises cuyo contenido limoso disminuye hacia muro y en el mismo se incrementa la presencia de materia orgánica.															
28,41																				
28,61																				
29,21	100				Tramo margoso limolítico que comienza con un nivel de calizas grises y a continuación aparece un nivel de yeso alabastrino con tex. turrón.															
30,87																				

U.T.S.: T4 Oligoceno Superior (parte sup.)



PROYECTO:
"ESTIMACION DEL POTENCIAL DE ALABASTRO EN EL VALLE DEL EBRO"

DIBUJADO: L. A. Díaz	SONDEO Nº 6	
FECHA: Nov. 1990	DATOS TECNICOS:	COORDENADAS UTM (1/50.000)
AUTOR: V. Calderón L. A. Díaz	Dirección:	X: 711,45
ESCALA: 1/100	Inclinación: Vertical	Y: 4576,85
	Profundidad: 30,18 m	Z: 295 m
		Hoja Nº: 441

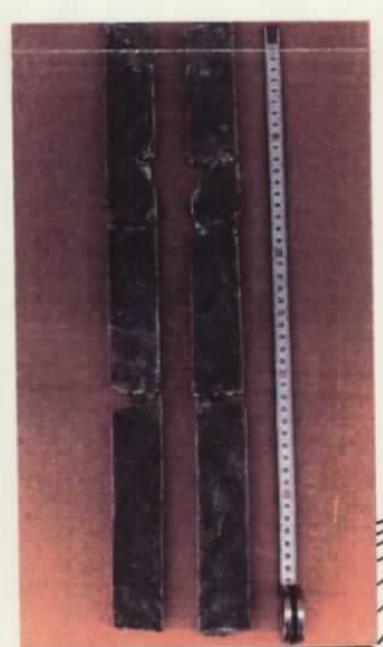
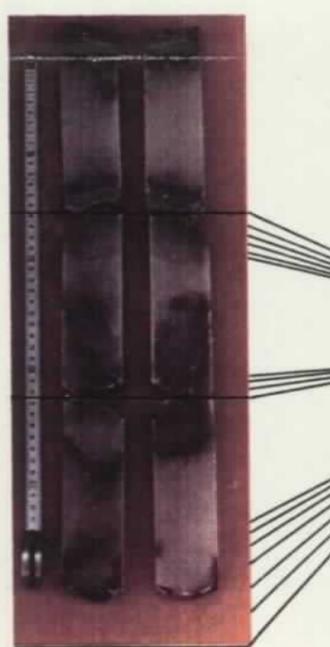


SIMBOLOS LITOLOGICOS

	Areniscas		Calizas
	Limolitas arcillosas / arenoso-arcillosas		Calizas margosas
	Lutitas		Alabastro
	Limolitas calcáreas		Yeso
	Margas		

OTROS SIMBOLOS

ESTRATIFICACION CRUZADA PLANAR			Nódulos de yeso
	Medio escala		Bioturbación
	Gran escala		Gasterópodos
ESTRATIFICACION CRUZADA EN SURCO			Lamelibranchios
	Medio escala		Fauna en general
	Gran escala		Briznas carbonosas (escosas)
	Estratificación fíaser		Troncos o vegetales carbonizados
	Estratificación lenticular		
	Laminación ondulada		
	Laminación paralela		
	Lámina cruzada		
	Huellas de carga		
	Nódulos		
	Castros ferruginosos		
	Granoclasificación		
	Cantos blandos		
	Ripples		
	Laminación convoluta		



PROFUNDIDAD EN METROS	TESTIGO RECUPERADO %	GRAFICO	COLUMNA LITOLOGICA	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FAUNAL Y FLORA	DESCRIPCION LITOLOGICA	DIAMETRO EN mm.	Nº MUESTRA	Análisis Químicos (TODO-UNO < 12 µm) %										USOS INDUSTRIALES TIPOGRAFIA		
								SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅			
0,36					Detritus arcillo-limoso con yeso fibroso.															
1,87	40				Lutitas grises y rojas con nódulos yesíferos alabastrinos.															
2,09					Alabastro con intercalaciones arcillosas.															
2,54	100				Calizas micríticas grises algo margosas con briznas carbonosas y materia orgánica.															
3,85	100				Lutitas margosas grises															
4,03					Yeso nodular (tex. turrón II) y fibroso, con intercalaciones arcillosas grises.															
4,33	100				Margas grises (techo) y lutitas carbonosas.															
4,63					Lutitas grises y rojas															
5,06	100				Yeso nodular y fibroso con lutitas grises															
5,48	100				Lutitas grises con materia orgánica.															
6,01	100				Yeso nodular macrocristalino															
6,39					Lutitas rojas bioturbadas															
6,63	100				Calizas margosas con algún banco calizo intercalado. Son fétidas y con briznas carbonosas.															
6,92																				
7,20																				
7,58																				
8,29	100																			
8,79																				
9,59																				
9,72	100																			
10,85	100				Lutitas rojas y grises con tres niveles intercalados de alabastro. El primero, a los 9,59 m de 10 cm de potencia, y los dos siguientes de 15 cm de potencia. Son de color blanco.															
11,48					Hacia muro se aprecian laminaciones arenosas con nivelillos de yeso con textura en empalizada.															
11,90	100																			
13,43	100																			
14,08																				
14,86	100				Calizas grises (5YR8/1*) más o menos margosas con materia orgánica a muro.															
15,42					Margas grises y rojas laminadas															
15,85																				
16,22	100																			
18,33	100				Lutitas rojas, principalmente, con tonalidades grises y un nivel alabastrino de 10 cm de potencia intercalado (tex. turrón). Hay bioturbación a muro.															
20,78																				
21,38	100				Limolitas calcáreas grises laminadas y con nódulos yesíferos.															
21,78					Margas verdosas con bandeado rojizo.															
22,28																				
24,35	100				Calizas margosas grises con laminación de materia orgánica y pulverulentas. A muro se tornan a calizas grise con fósiles.															
24,95																				
26,67					Lutitas margosas rojas con bioturbación															
27,37	100																			
27,64					Limolitas calcáreas grises laminadas con dos niveles (10 cm) de yeso fibroso a techo y muro.															
28,18					Yeso masivo gris oscuro.															
28,33	100				Calizas grises															
30,18					Lutitas pardo-rojizas con un nivel de yeso a muro (10 cm).															

U.T.S.: T4 Oligoceno Superior (parte sup.)

una potencia de unos 90 cm.

Paralelamente a la realización de los sondeos se efectuó un recorrido de campo por la zona de estudio, levantándose diversas columnas estratigráficas, para complementar a aquellos, y darnos una visión general de la estratigrafía del área.

En la Figura 37 se puede contemplar la distribución geográfica de las columnas efectuadas, siempre a pie de cantera o bien en los taludes u otros cortes naturales del terreno.

En las páginas sucesivas, y ordenadas de este a oeste, se expone la descripción gráfica y geológica de las columnas estratigráficas obtenidas.

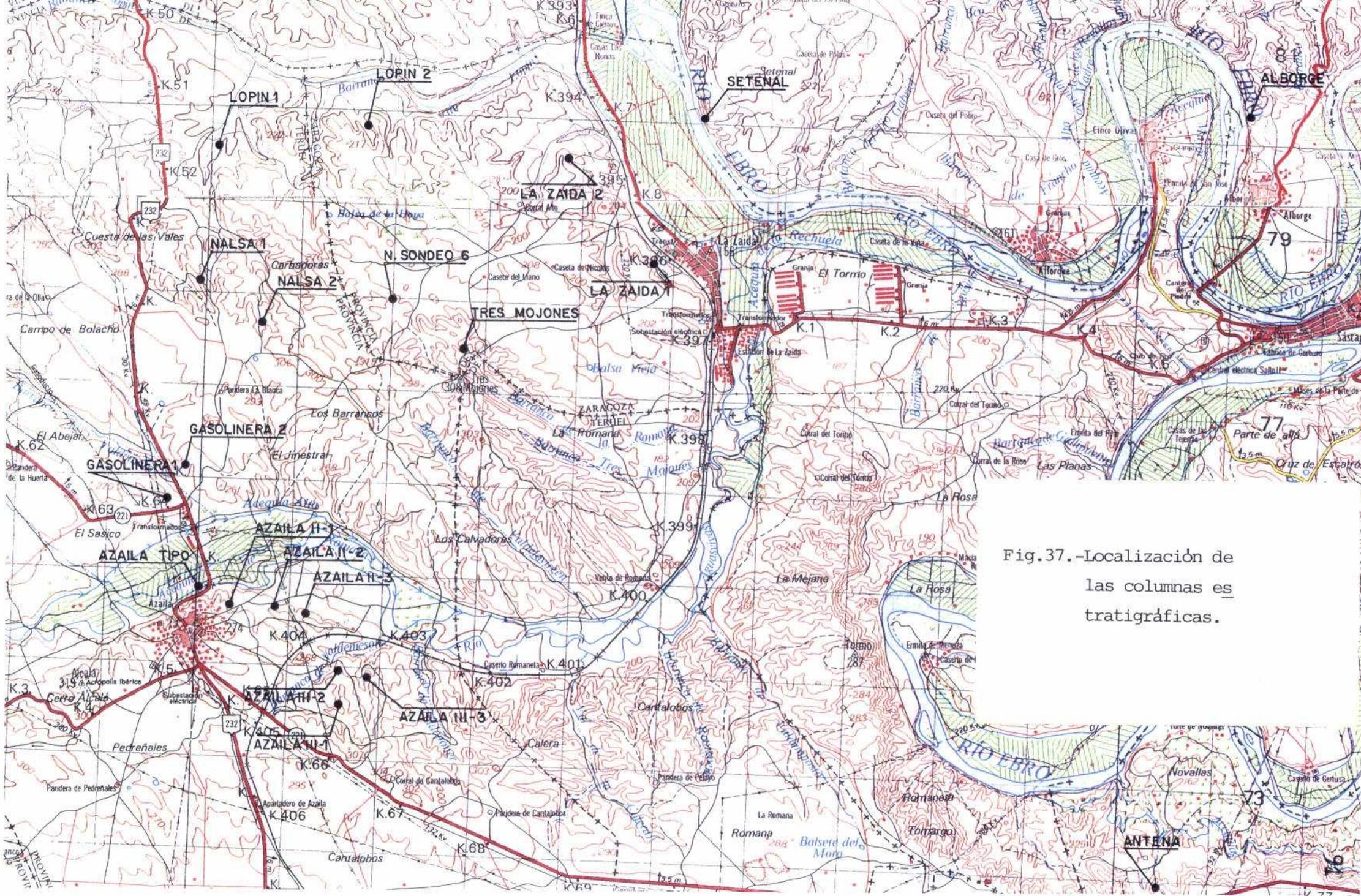
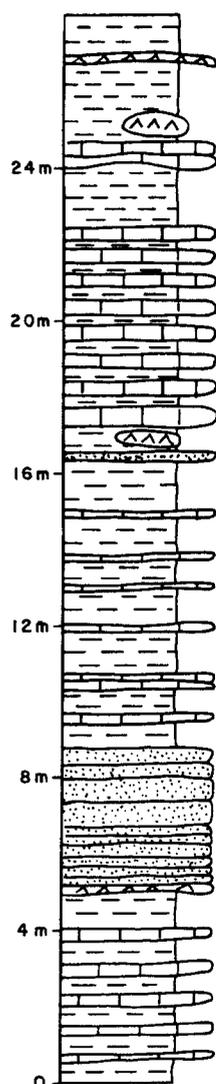


Fig.37.-Localización de las columnas es tratigráficas.



Lutitas rojas con nódulos aislados de alabastro (ϕ 30-40 cm) y algún banco de calizas.

Calizas cremas tableadas, en sets de 5-20 cm, con interestratos arcilloso-margosos cremas. Se aprecian bioturbaciones y porosidad móldica.

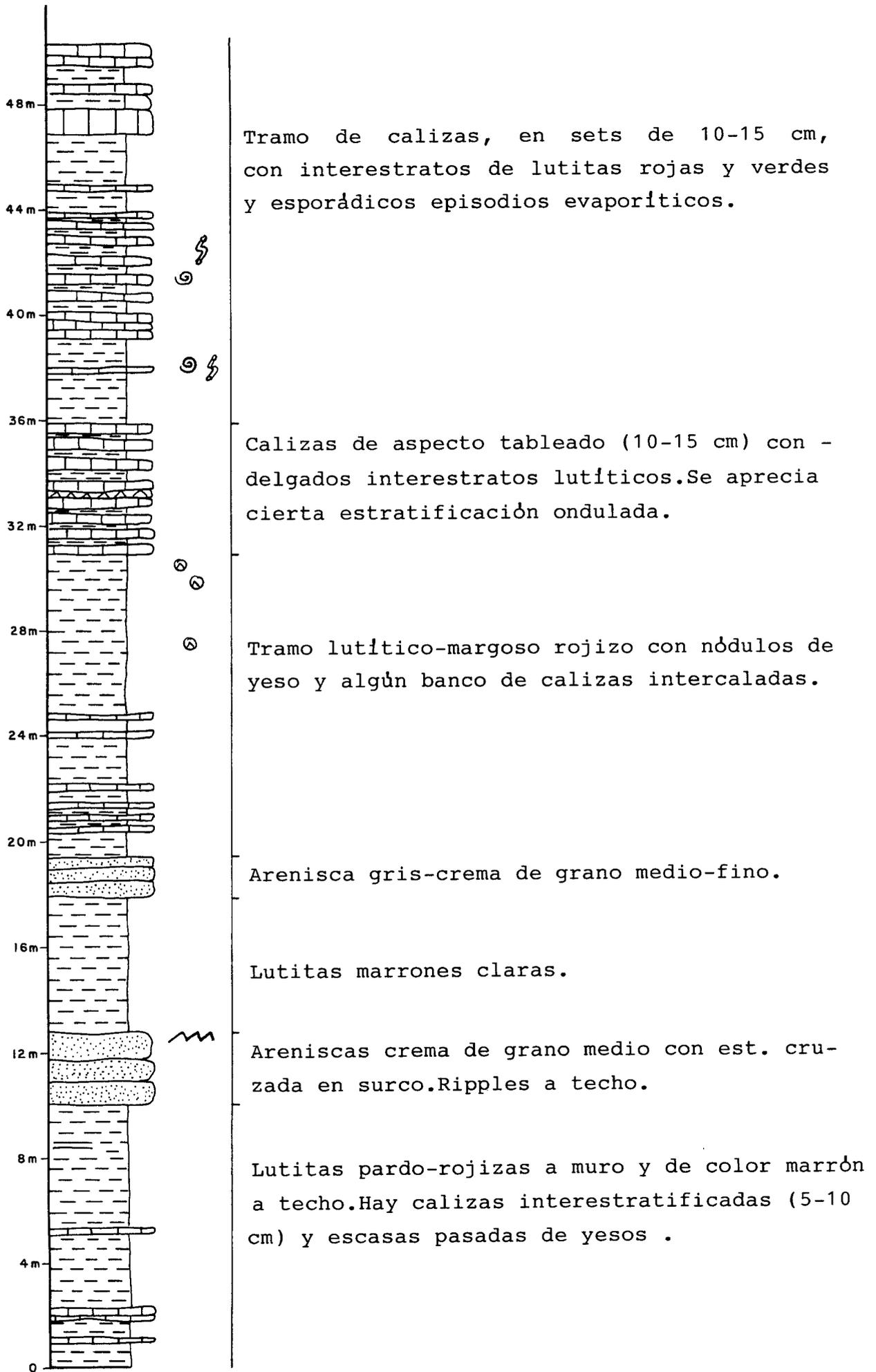
Tramo lutítico pardo-rojizo con pasadas delgadas de calizas (5-10 cm) y a techo nivel de areniscas con estrat. cruzada en surco. Hay nódulos de yeso e inyecciones de yeso fibroso.

Areniscas grises de grano medio-fino en sets de 15-40 cm y con bases erosivas y laminación.

Tramo de lutitas y calizas.

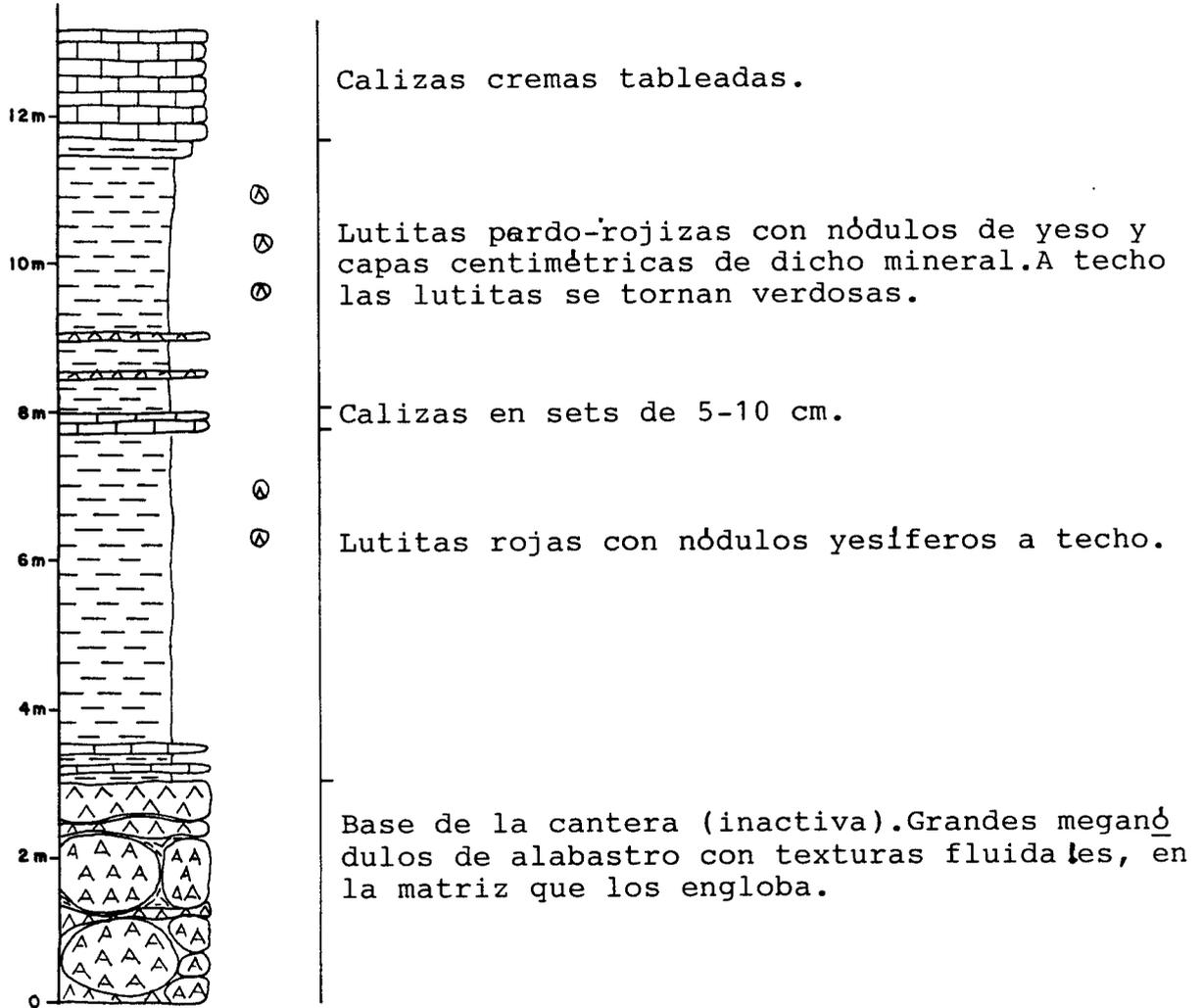
Alborge

Cota muro \approx 135 m



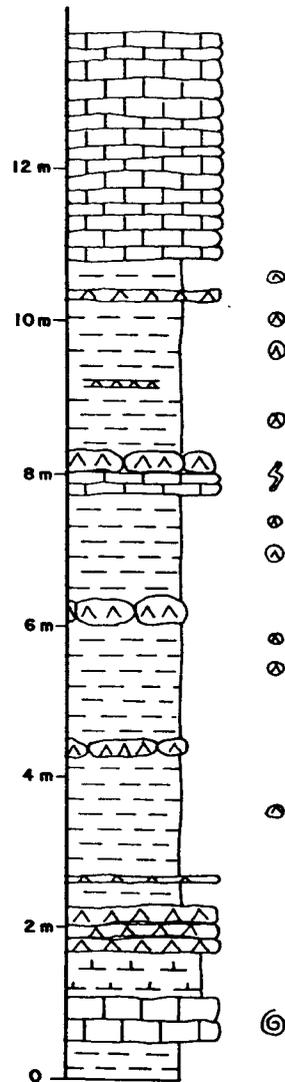
Antena

Cota muro \approx 210 m



Cantera paraje "Setenal"

Cota muro ≈ 190 m



Calizas cremas

Niveles lutíticos pardo rojizos con capas de yeso intercaladas, con tex. nodular y empalizada.

Calizas cremas con un nivel nodular yesífero a techo.

Lutitas rojizas con nódulos alabastrinos e inyecciones de yeso fibroso.

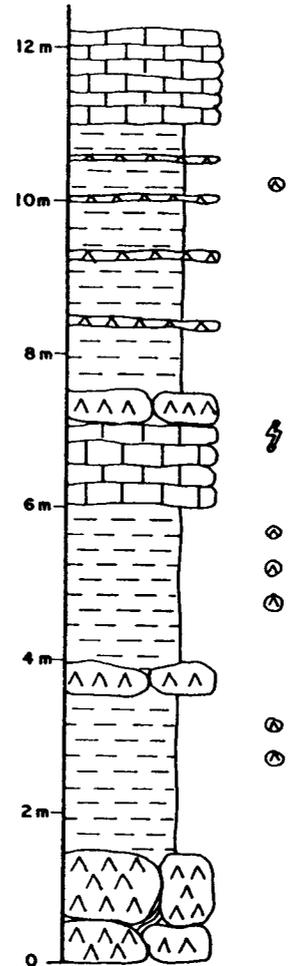
Nivel de yesos con tex. turrón.

Margas verdes

Calizas cremas con yeso y fósil.

Lutitas vinosas y verdosas (techo)

Cantera La Zaida - 1
Cota muro ≈ 185 m



Calizas y margas de color crema

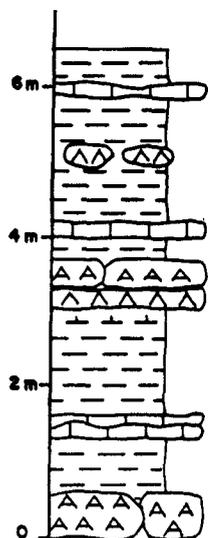
Tramo lutítico pardo rojizo con yesos nodulares (Ø 3-4 cm) intercalados.

Calizas cremas con nódulos de yeso de unos 50 cm de potencia.

Lutitas rojas con nódulos yesíferos e inyecciones de yeso fibroso.

Yeso masivo gris verdoso, con nódulos alabastrinos cementados por yeso fibroso.

Cantera La Zaida - 2
Cota muro ≈ 185 m



Tramo lutítico rojizo con tonos grises verdosos y nódulos de alabastro de ϕ 25 cm. Hay calizas intercaladas.

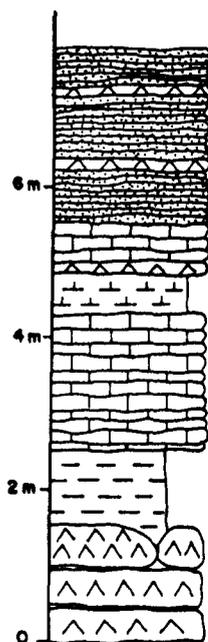
Tramo yesífero en dos capas, la superior nodular alabastrina y la inferior sacaroidea.

Tramo lutítico rojizo, con un nivel de margas verdes laminadas a techo. Hay un nivel de calizas cremas intercalado, con bioturbación y estrat. ondulada.

60 cm Alabastro blanco en grandes nódulos con tex. turrón

Cantera al norte de TRES MOJONES

Cota muro \approx 275 m



Tramo margoso limolítico gris verdoso con capas yesíferas intercaladas.

Calizas cremas con interestratos arcillosos

Margas grises verdosas.

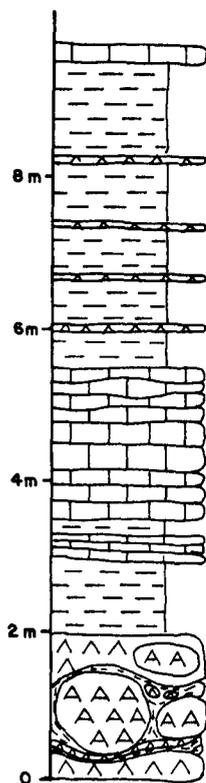
Calizas micríticas cremas con interestratos arcillosos y estratificación ondulada.

Lutitas versicolores

Nódulos de yeso alabastrino con texturas variadas y - variada coloración (blanco, rosado, cristal).

Cantera al norte del sondeo 6

Cota muro \approx 240 m



Lopin 2

Cota muro \approx 185 m

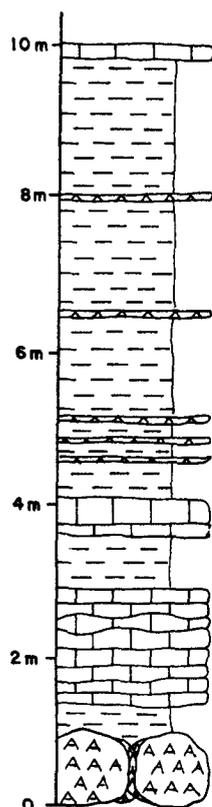
Calizas cremas.

Lutitas pardo-rojizas con pasadas de 5-10 cm de yesos nodulares e interestratos de calizas.

Calizas cremas tabulares con estratificación ondulada, a techo, y bioturbación, a muro.

Lutitas pardo-rojizas.

Base de la cantera con yesos nodulares de alabastro, en explotación, coalescentes e interrelacionados por una textura fluidal.



Lopin 1

Cota muro \approx 185 m

Calizas cremas pulverulentas.

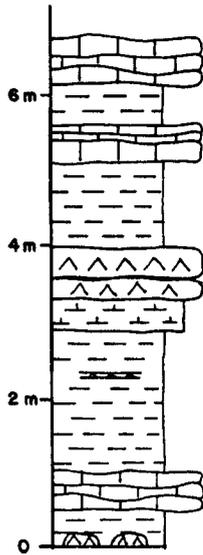
Lutitas pardo-rojizas con intercalacion de yesos con textura nodular y en empalizada.

Calizas cremas con pasadas negras (fétidas).
Lutitas pardo-rojizas y verdes, a techo.

Calizas fuertemente bioturbadas, a techo, con estrat. ondulada (nodulosas) e interestratos arcillosos. Hay cristalitos de yeso.

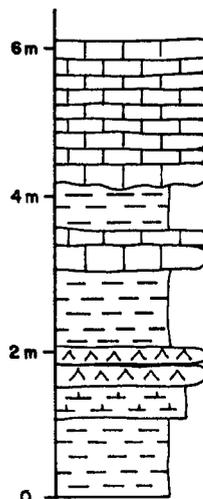
Lutitas rojas.

Base de la cantera, con meganódulos de alabas.



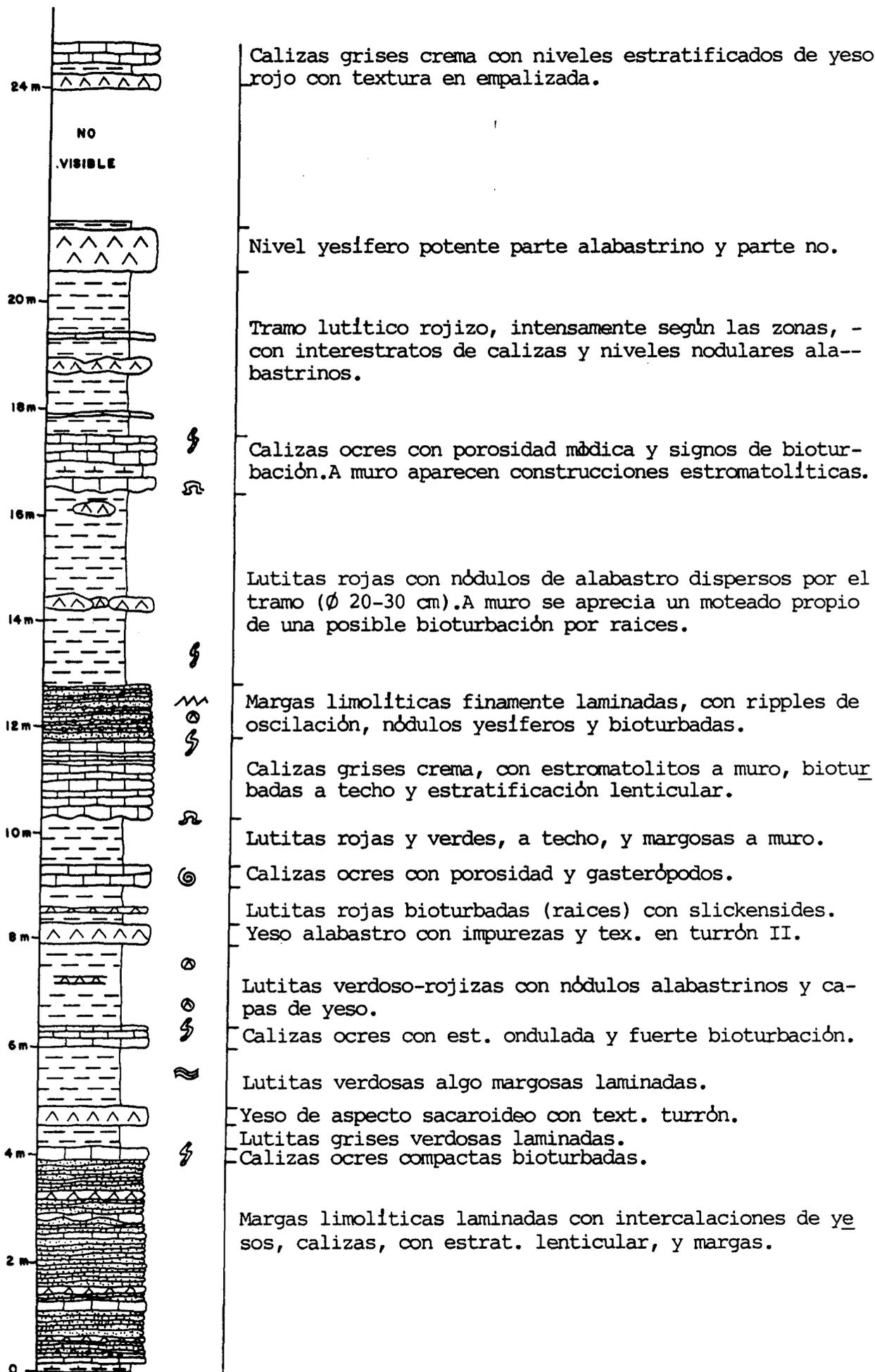
Gasolinera 2
Cota muro ≈ 250 m

Calizas cremas pulverulentas
Lutitas rojas
Calizas cremas con interestratos arcillosos
Lutitas rojas
Paquete de yesos con textura nodular y en -
empalizada con lutitas verdosas.
Margas limosas verdes.
Lutitas rojas con pasadas nodulares de yesos
Calizas ocreas con estrat. ondulada.
Base de la cantera. Lutitas rojas con yeso sa
caroideo, en nódulos.



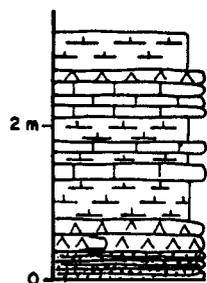
Gasolinera 1
Cota muro ≈ 247 m

Calizas cremas con estrat. ondulada en sets
de 10 cm. A muro aparecen niveles estromato-
líticos y signos de bioturbación.
Lutitas rojas.
Calizas grises crema con mat. orgánica.
Lutitas rojas.
Yeso en capa continua con dos sets, el infe-
rior nodular alabastrino y el sup. masivo.
Margas laminadas rojas y verdes.
Lutitas rojas y verdes con signos de biotur-
bación de raíces y estruc. de slickensides.



Azaila - Tipo

Cota muro \approx 230 m



Azaila III-3

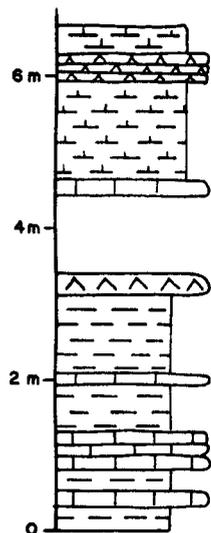
Cota muro ≈ 265 m

Margas grises con inyecciones de yeso fibroso.
Calizas grises con interestratos de lutitas.

Margas laminadas rojo-grisáceas, con calizas -
interestratificadas.

Yeso nodular en capas.

Limolitas calcáreas laminadas con yeso.



Azaila III-2

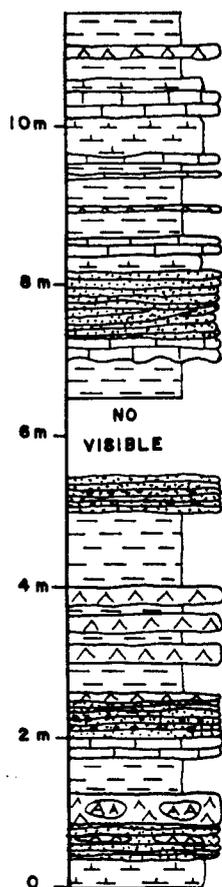
Cota muro ≈ 265 m

Margas laminadas grises y rojas con yeso.

Calizas ocre compactas.

Yeso alabastrino con textura en empalizada.

Lutitas rojas con laminaciones y niveles de -
calizas intercalados.



Azaila III-1

Cota muro - 270 m

Lutitas ocre-pardas con yeso en empalizada.

Margas laminadas grises a techo y niveles de
lutitas rojas a muro. Hay algún banco de cali-
zas bioturbadas.

Limolitas calcáreas laminadas.

Calizas cremas con estromatolitos.

Lutitas rojas, algo verdosas a techo.

Limolitas calcáreas laminadas con nód. de yeso.

Lutitas rojas con capas de yeso intercaladas, -
son de aspecto sacaroideo y con texturas en em-
palizada.

Limolitas calcáreas laminadas con nód. de yeso.

Calizas compactas fétidas con fósiles y biotur.
Lutitas rojas y verdes.

Yeso alabastrino que deforma los estratos.

Limolitas calcáreas laminadas con yeso.

Margas rojo-verdosas laminadas.

VI.1.- Correlaciones y guías de la mineralización

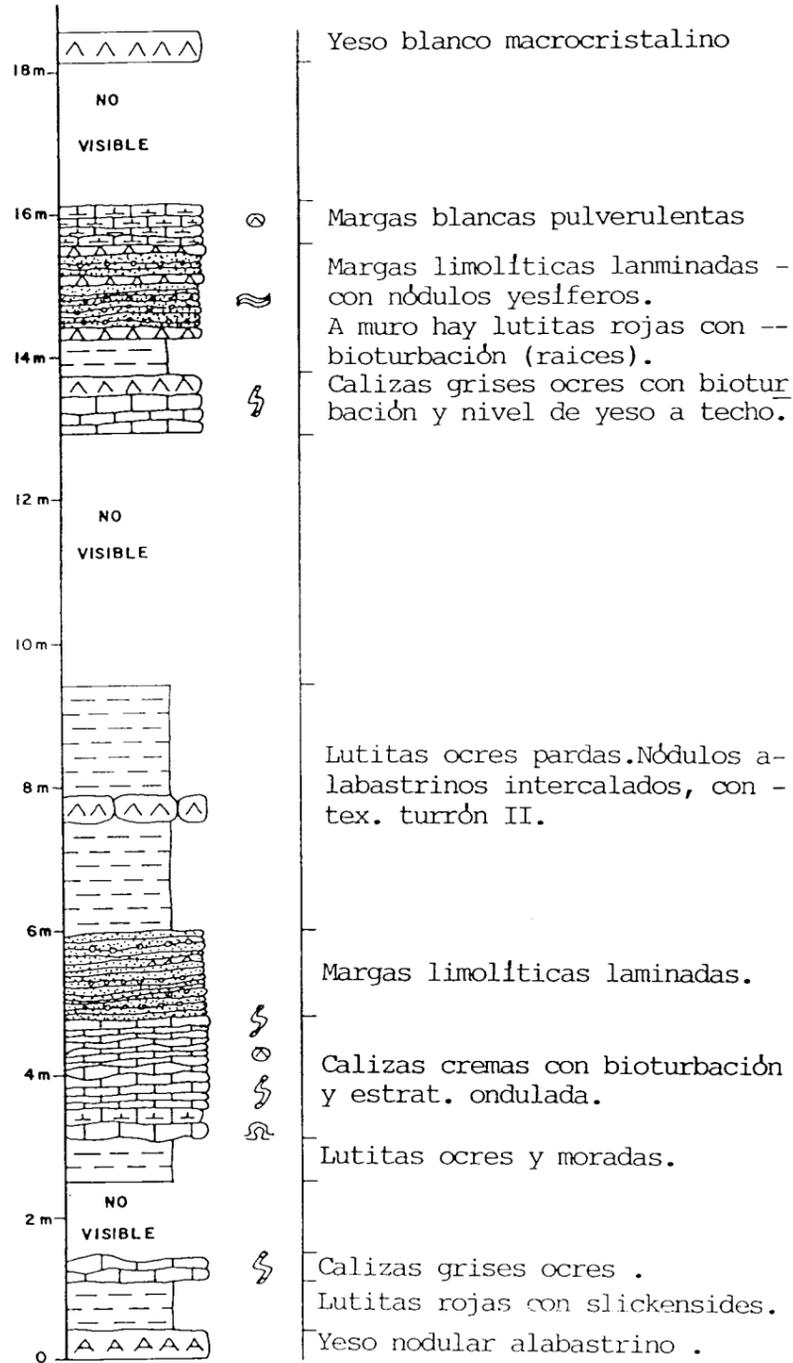
El área de estudio, atendiendo a la amplia variabilidad de facies que presenta, tiene una correlación litológica bastante problemática y sobre todo en lo que se refiere a los niveles de alabastro.

Después de los recorridos de campo efectuados y de la observación de los testigos de los sondeos perforados se puede dar una interpretación geológica a los distintos tramos de la columna estratigráfica general del área de estudio, estableciéndose unas correlaciones litológicas tanto de las rocas sedimentarias como de los niveles mineralizados (alabastro) existentes.

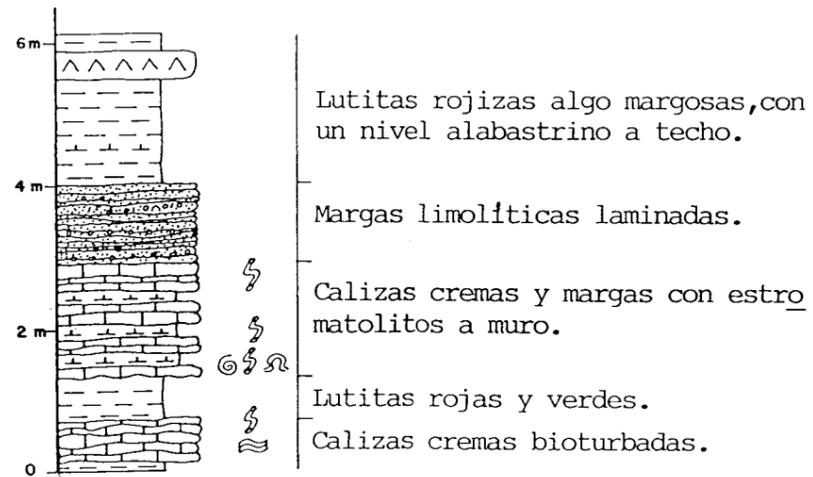
Una vez que se observan las cotas donde se explotan las canteras de la zona se pueden establecer dos niveles interrelacionados entre sí. Uno, el nivel más elevado, a una cota entre 230-260 m, correlaciona mutuamente los sedimentos perforados por los sondeos n^{ROS} 2, 3, 4 y 5, juntamente con las columnas estratigráficas de campo de cotas similares. El segundo nivel, a cotas rondando los 200 m, correlaciona entre sí los sondeos n^{ROS} 7, 8 y 9, junto con las columnas hechas a pie de cantera y otros afloramientos en cotas parecidas.

En las Figuras 38 y 39 se pueden contemplar las correlaciones anteriormente descritas y en el PLANO 1, al final de esta memoria, se exponen tridimensionalmente las mismas.

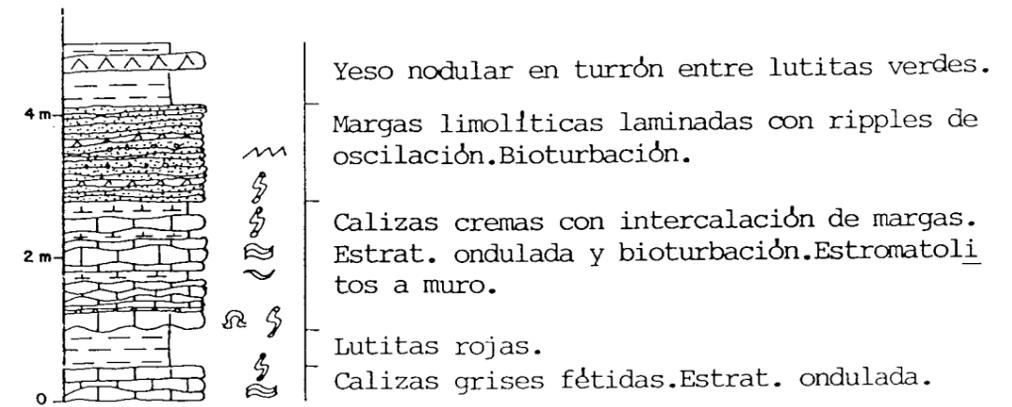
En cuanto a las guías de la mineralización, hay que decir que para las canteras que extraen el alabastro a una cota aproximada de 250 m existe una secuencia guía, de amplia continuidad lateral, que se detecta en el campo, y que está perfectamente representada, en la carretera que asciende al pueblo de Azaila (Teruel), viniendo de



Azaila II-1
Cota muro ≈ 238 m

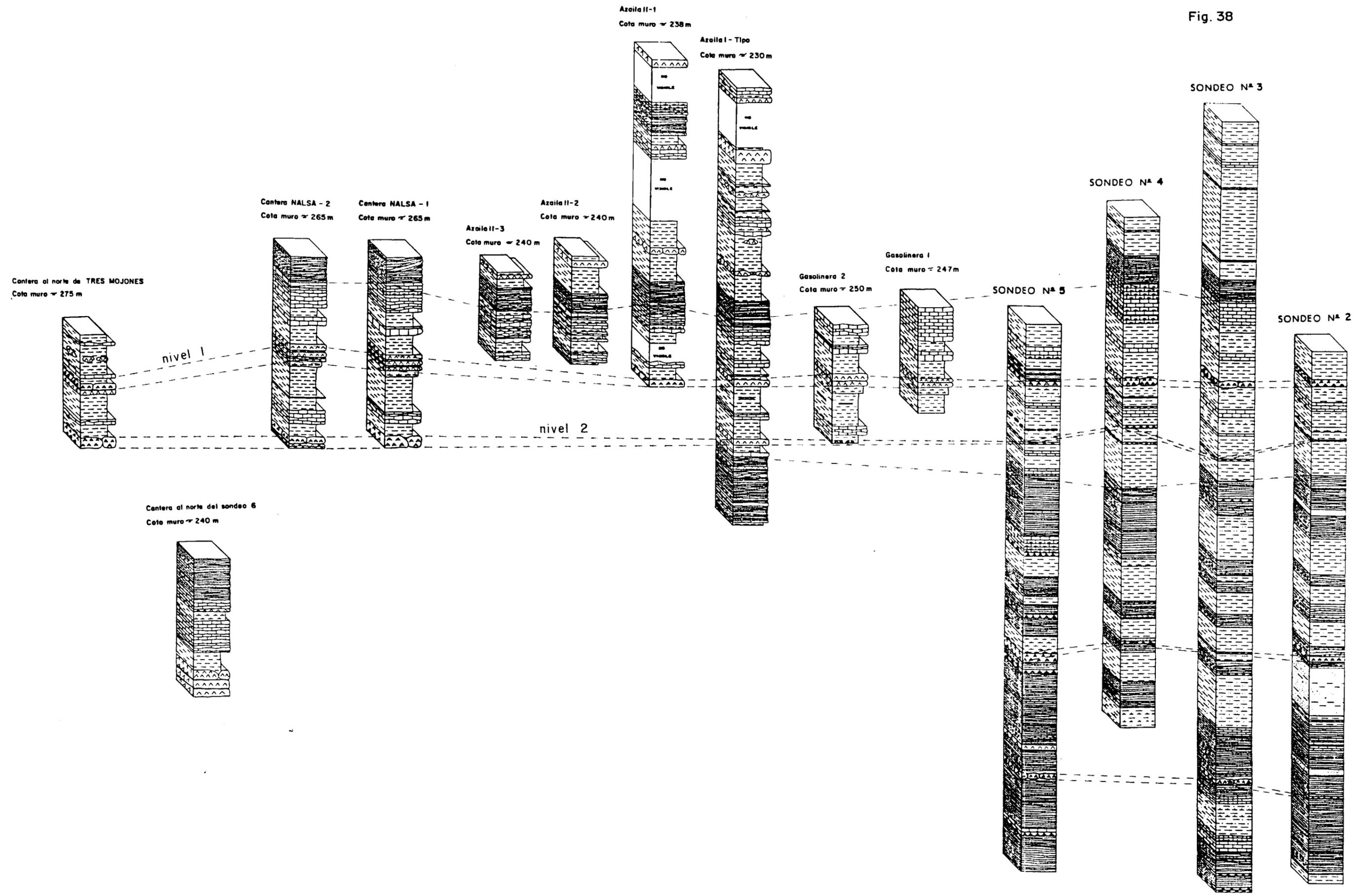


Azaila II-2
Cota muro ≈ 240 m



Azaila II-3
Cota muro ≈ 240 m

Fig. 38



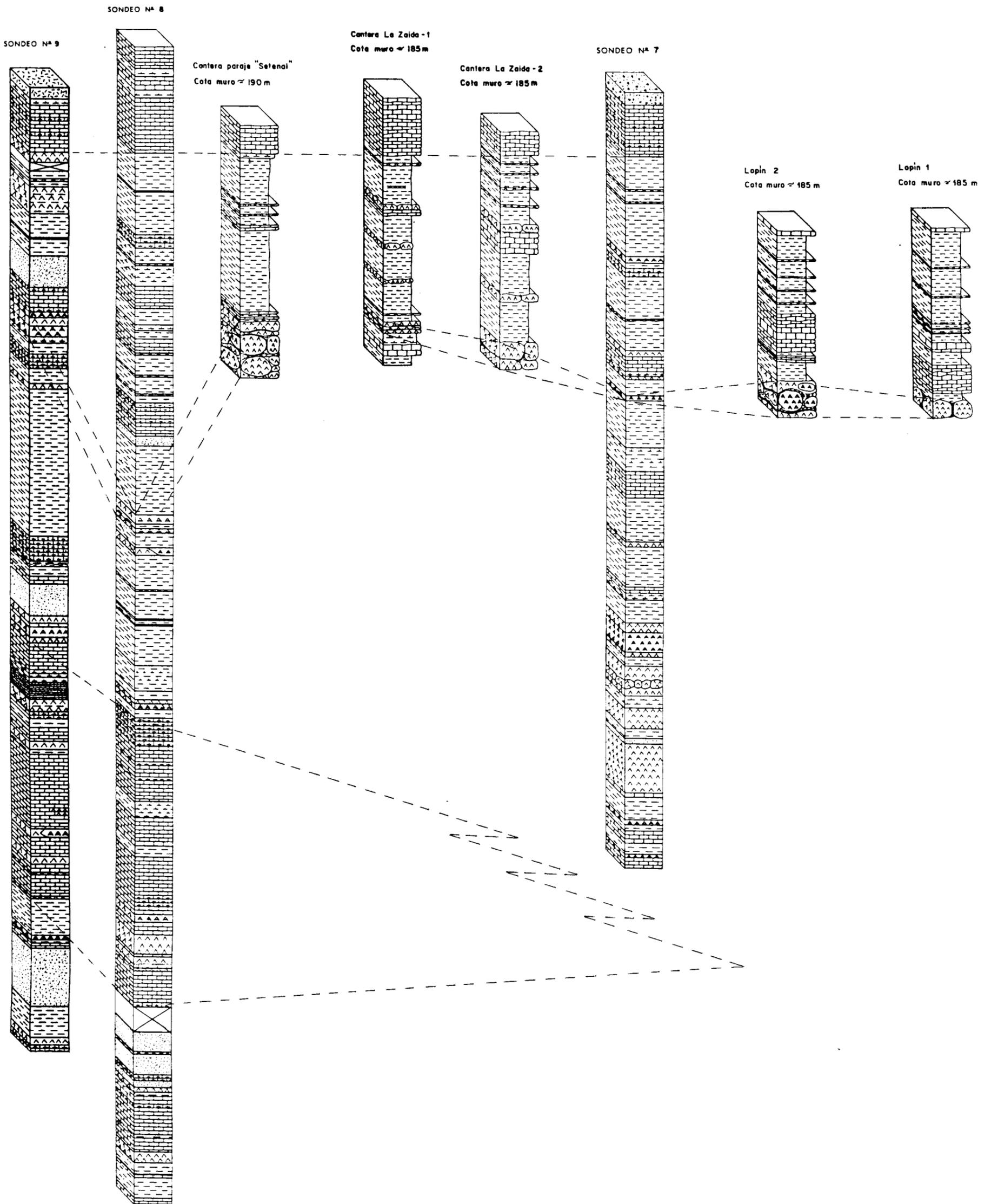


Fig. 39

Zaragoza (Fig. 40).En dicho corte se pueden apreciar dos capas de alabastro, con textura "en turrón", de unos 25-30 cm de potencia, que en las canteras situadas más al norte de este lugar, como las de HERNA y NALSA, son detectables en el frente de explotación.

El corte tipo es litológicamente casi constante por los alrededores, siendo la secuencia tipo a observar la constituida, de techo a muro, por :

1. Limolitas calcáreas laminadas con nódulos de yeso.
2. Calizas tableadas cremas.
3. Lutitas rojas con algún banco de caliza intercalado
4. Nivel de alabastro 1 (canterable)
5. Lutitas rojas.
6. Calizas cremas.
7. Lutitas rojas.
8. Nivel de alabastro 2 (canterable).
9. Lutitas rojas.

Como se puede comprobar al observar los frentes de explotación en las canteras de HERNA (Fig.41) y de NALSA (Fig. 42), la primera extrae el nivel de alabastro 1 (de unos 35-40 cm de potencia), mientras que la segunda extrae el nivel de alabastro 2, dentro de la columna tipo, ya que el nivel superior, en estos alrededores, ha variado sus características texturales y de potencia y se ha convertido en lo que los canteros conocen vulgarmente como "sala-zón" (yeso microgranular-masivo).

Las numerosas calicatas y principios de canteras que se observan por la zona, siempre rondando la cota de los 245-250 m, han intentado explorar-beneficiar esos dos niveles de alabastro anteriormente descritos, por lo que

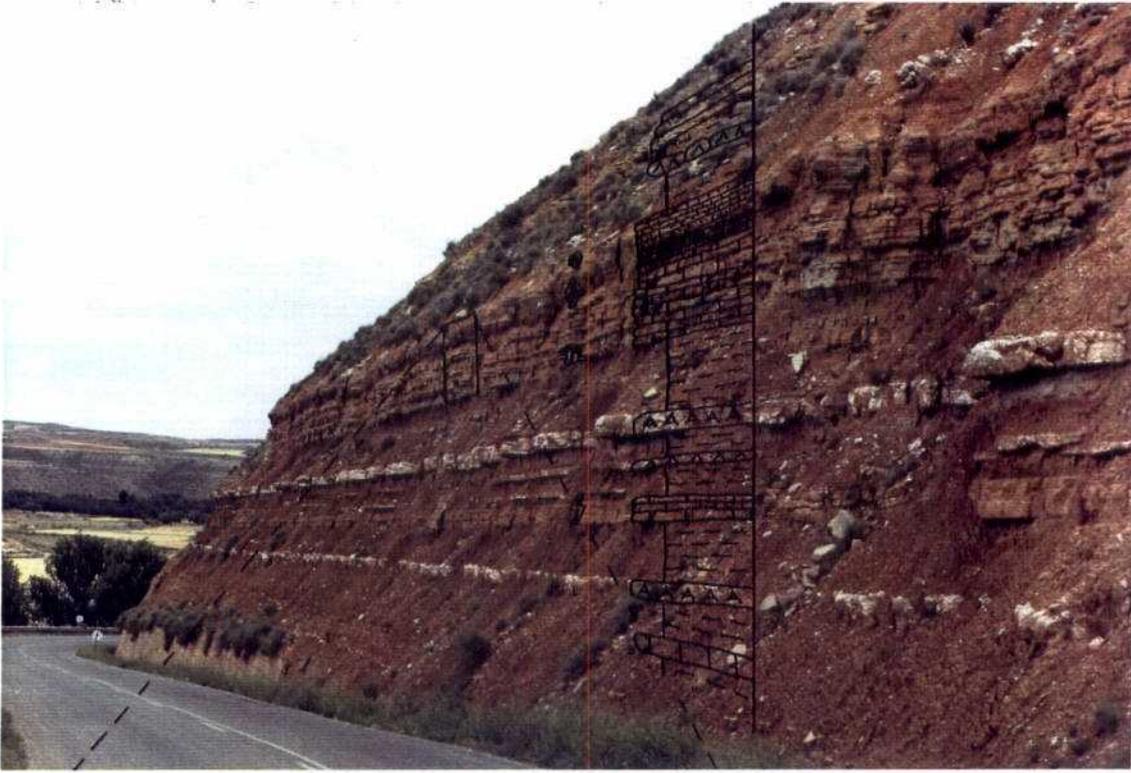


Fig.40.- Corte tipo, en la carretera que asciende al pueblo de Azaila, que está presente por los alrededores y es correlacionable con los frentes de explotación - de las canteras situadas en cotas similares.

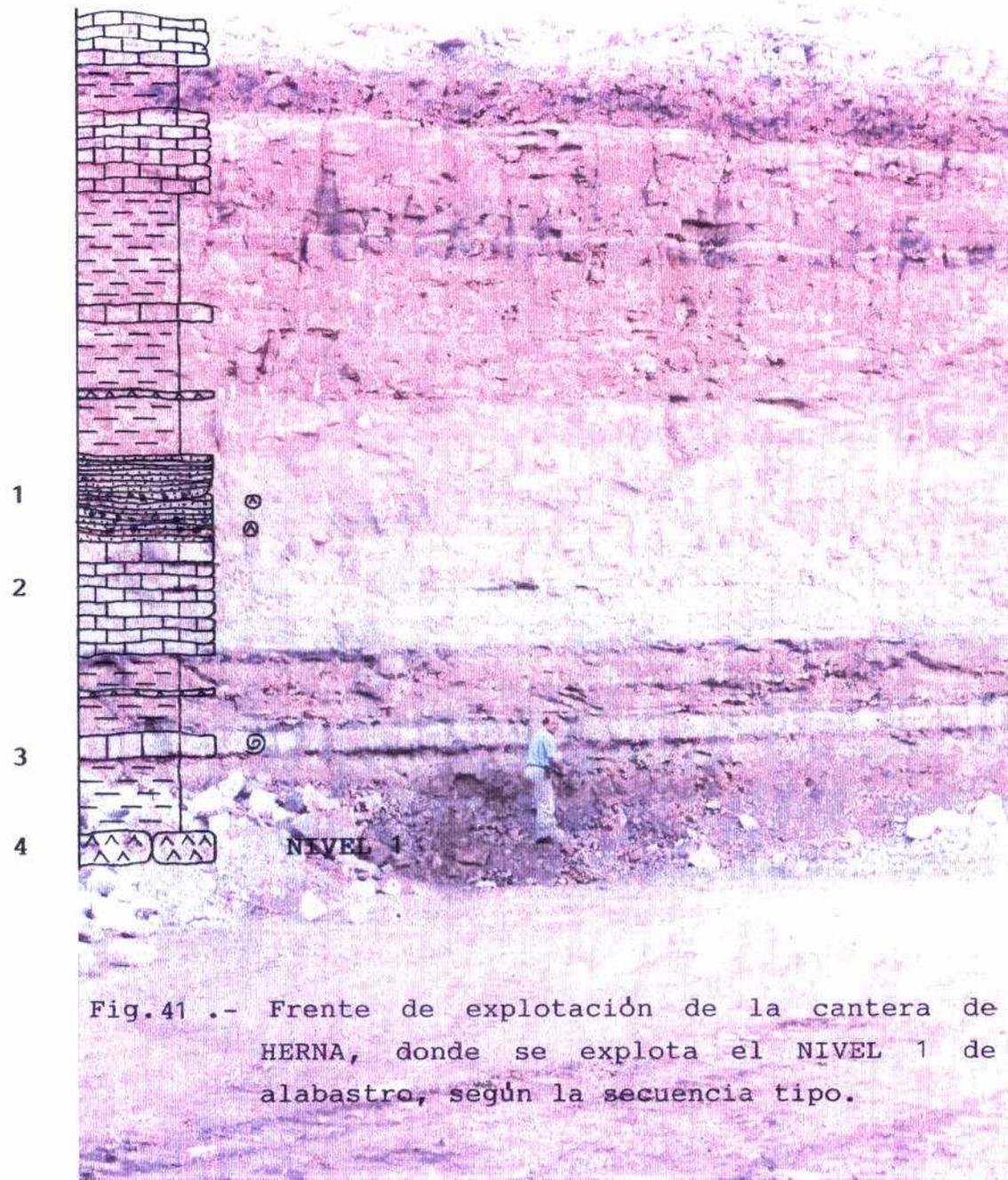


Fig.41 .- Frente de explotación de la cantera de HERNÁ, donde se explota el NIVEL 1 de alabastro, según la secuencia tipo.



Fig. 42.- Frente de explotación de la cantera de NALSA, en el que se puede observar el corte tipo presente en cotas similares. Obsérvense los dos niveles de alabastro, uno de los cuales (NIVEL 1) no reúne las condiciones de explotabilidad y es denominado por los canteros como "salazón".

la secuencia descrita con anterioridad es de gran interés prospectivo.

Por lo que respecta a las guías de la mineralización de los niveles de alabastro que se encuentran en cotas próximas a los 200 m, aquí no se puede ser tan preciso.

Parece ser que existe una cota de explotación próxima a los 185 m, donde los niveles de alabastro, de gran desarrollo nodular, se hallan inmersos en lutitas rojas, existiendo a techo, generalmente, un conjunto de estratos calizos, que suelen coronar los relieves de los alrededores.

La gran variabilidad de facies existentes en el entorno se puede comprobar en la Figura 105, donde los sondeos 8 y 9, por un lado, y 7, por el otro, son difícilmente correlacionables, apreciándose como los niveles calizos inferiores de los sondeos 8 y 9 tienden a acuñarse por debajo de los potentes depósitos de yeso del sondeo n° 7.

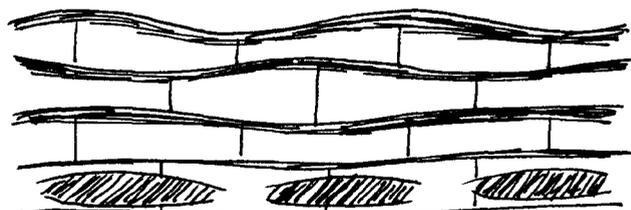
VII.- PETROLOGIA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEL AREA DE ESTUDIO

VII.- PETROLOGIA DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DEL AREA DE ESTUDIO

Las rocas sedimentarias existentes dentro del área investigada presentan una litología no muy variada. Predominan, fundamentalmente, las lutitas, con un mayor o menor contenido en carbonatos (naturaleza margosa), las calizas y los niveles limolítico-areniscosos.

Las características granulométricas, mineralógicas y químicas de las lutitas se comentarán en el apartado XI correspondiente.

Las calizas están constituidas principalmente por micrita, presentando cierta estratificación ondulada siempre en sets de no muy elevado espesor (entre 10-25 cm). Suelen observarse estructuras estromatolíticas y niveles negruzcos fétidos, interestratificados y en aureolas elípticas como el esquema gráfico inferior.



Se observan signos de bioturbación (tubos irregulares de 1 mm ϕ de promedio) generalmente en la finalización de cada set de calizas y también restos fósiles de gasterópodos. Se han observado grietas de desecación (Ver Fig.23A).

Los niveles limolítico-areniscosos son bastante frecuentes en el área de estudio, ya que nos encontramos geológicamente en una zona de frecuentes interdigitaciones entre las formaciones evaporíticas orientales y la formación detrítica de Caspe (Quirantes, 1978). Están constituidos,

dichos niveles, por clastos de cuarzo (tamaño arena fina-limo) y de calcita como componentes mayoritarios, y poseen también cristales de feldespatos, micas y minerales pesados. El cemento es, preferentemente, carbonatado y yesífero, así como también silíceo.

Los tipos petrográficos más característicos que se han observado, atendiendo a la columna estratigráfica general de la zona, son los siguientes:

Arenita yesífera: Está representada en las muestras de los sondeos 1 y 8 y está constituida mayoritariamente bien por clastos subangulosos de cuarzo ($\approx 200-400 \mu\text{m}$) (Fig. 43) o bien por cristales subidiomorfos de calcita de aproximadamente $200 \mu\text{m}$ (Fig.44), aunque también se pueden observar mezclas de ambos. Estos dos componentes mineralógicos están cementados por yeso monocristalino. Como componentes accesorios podemos encontrarnos clorita, moscovita, feldespato potásico, alterado a sericita, plagioclasas, fragmentos de roca de naturaleza cuarcítica (muestras del sondeo 1) y calcita autigénica.

Calcarenita con cuarzo: Constituida por clastos subidiomórficos de calcita, escasamente rodados, de unas $250 \mu\text{m}$ de tamaño promedio, junto con cristales de cuarzo (10%) angulosos y tamaño similar a los de calcita. El cemento es micrítico y se pueden observar relictos de fósiles (Fig.45).

Limolitas calcáreas con nódulos de yeso: La textura más habitual de ésta microfacies es la laminada, con niveles de limolitas que presentan granos angulosos de cuarzo ($<30 \mu\text{m}$) y de calcita micrítica (fango calcáreo). Como componentes accesorios destacan la clorita (procedente de la degradación de la biotita), la moscovita, en cristales prismáticos y orientados paralelamente según la laminación, y minerales pesados como la turmalina y el circón. Hay también óxidos

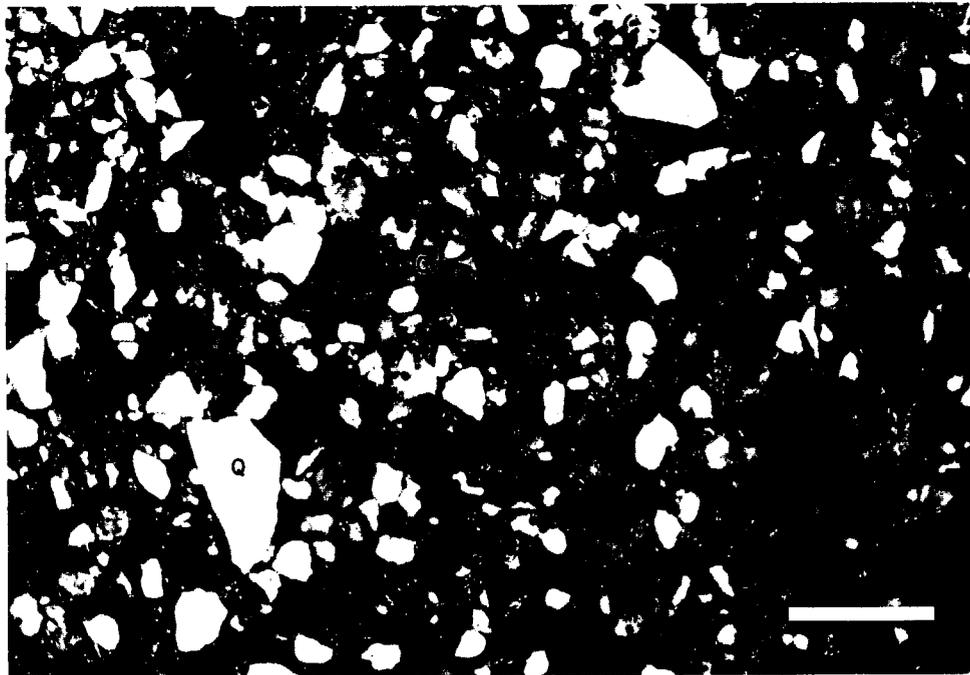


Fig.43.- Arenita yesífera con clastos subangulosos de cuarzo (Q) y también, en menor proporción, de calcita (Ca). Muestra LS1-3 (sondeo 1). Nícoles cruzados (N.C.), siendo la longitud de la escala 500 μm .

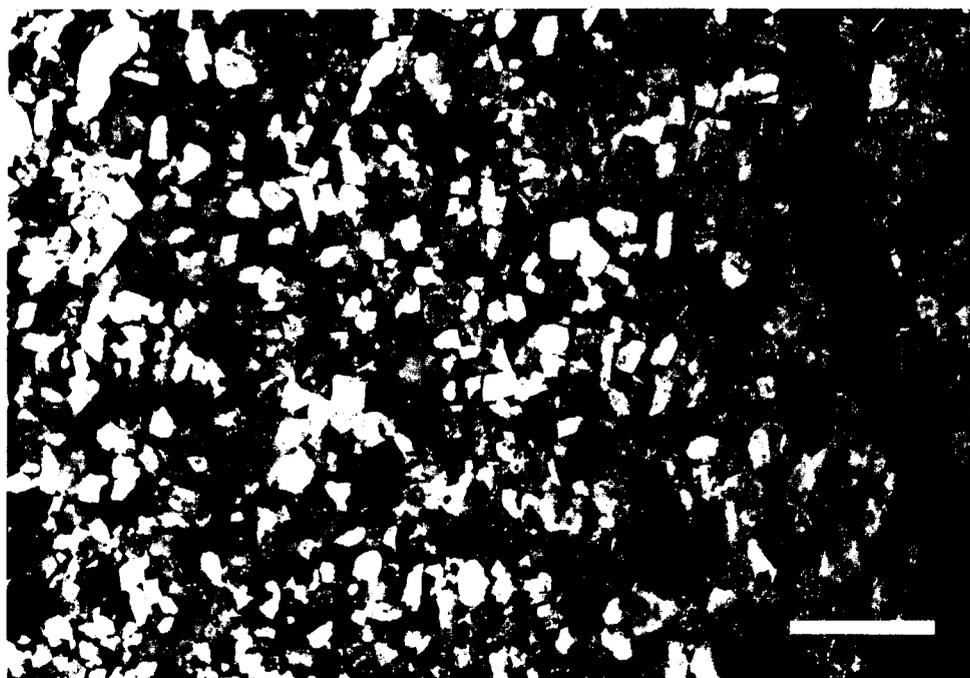


Fig.44.- Arenita yesífera formada mayoritariamente por cristales de calcita cementados por yeso. Se observa una vena de yeso fibroso que discurre por la foto, en su parte este. Muestra LS8-6 (Sondeo 8). N.C., escala: 500 μm .

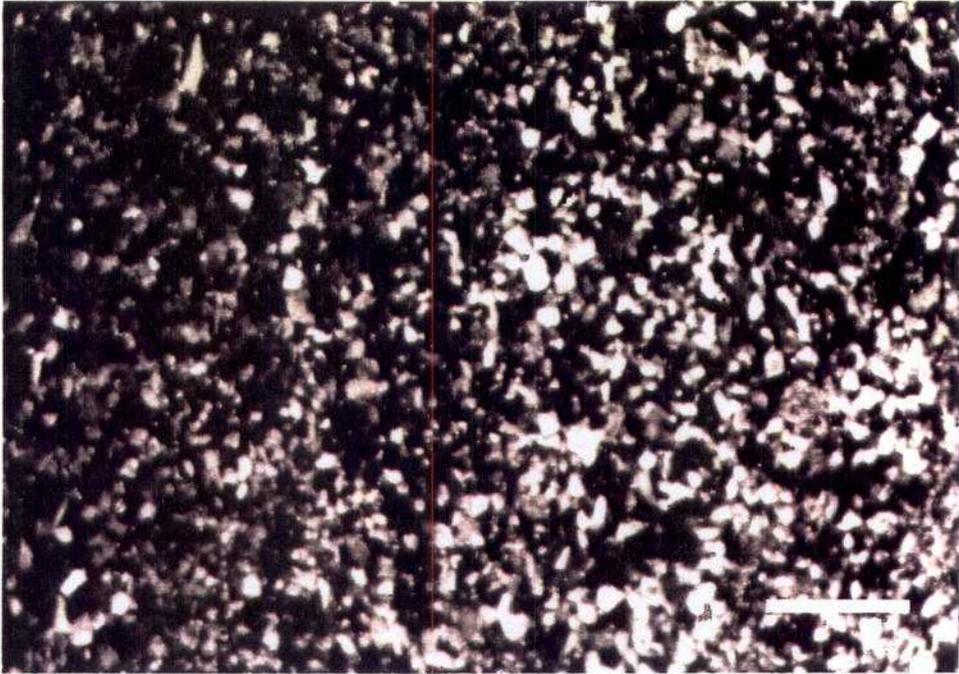
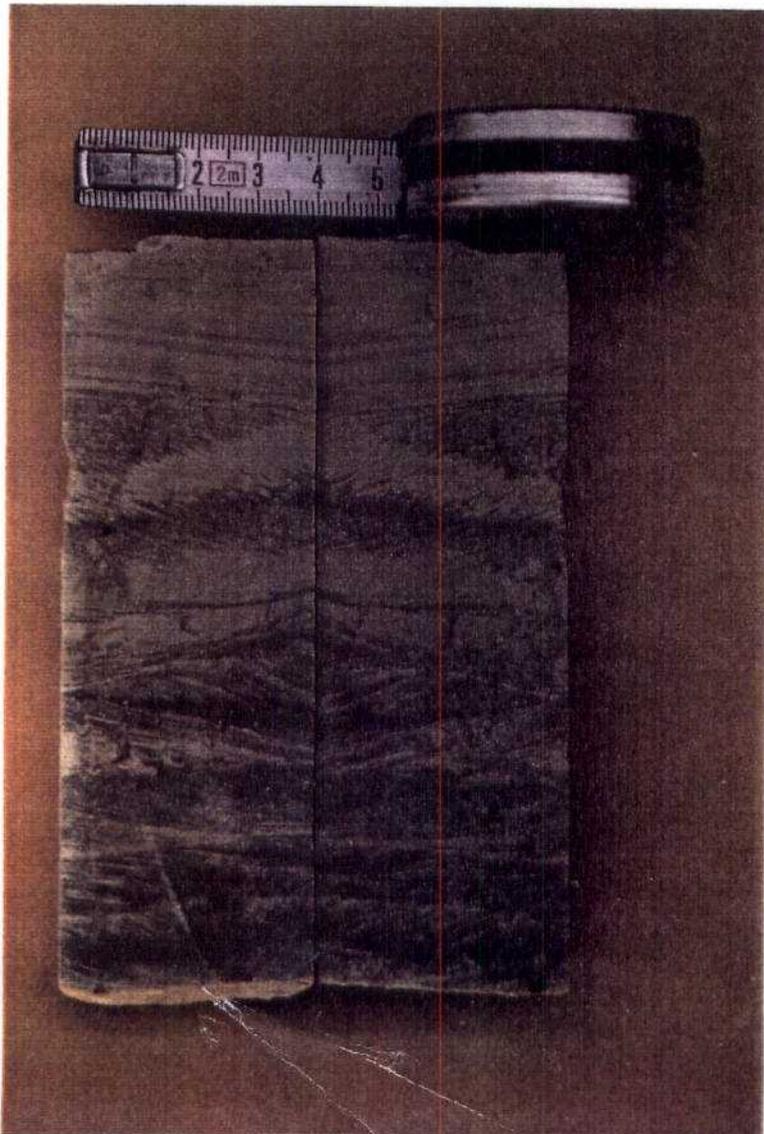


Fig.45 .- Calcarenita con cuarzo, siendo el cemento de calcita. Muestra LS8-20 (sondeo 8). N.C., escala: 500 μ m.

En la fotografía inferior se puede observar la muestra de mano de ésta preparación.



de hierro.

Entre los cristales limosos de cuarzo se aprecia también sílice autigénica como cemento. El yeso que se observa es de textura nodular y, en algunas preparaciones, se ven los relictos de la fase mineral primaria o anhidrita, a la que reemplaza. (Fig. 46)

Limolitas calcáreas con pellets: Esta microfacies aparece en un tramo comprendido entre las cotas 240-260 m aproximadamente, asociada a los niveles de alabastro existentes en dicho tramo. Los pellets posiblemente estén relacionados con la destrucción de niveles algáceos, reconocibles en aquel tramo, y cuya composición mineralógica es dolomítica. En la Figura 47 se aprecia un bandeo constituido por láminas ricas en pellets y por granos de cuarzo de tamaño limo.

Estas dos últimas microfacies limolítico-calcáreas pueden presentar variaciones petrográficas transicionales a areniscas muy finas o bien manifestar un mayor predominio de la componente micrítica.

Biodismicrita: Es la microfacies más habitual entre las rocas carbonatadas del área de estudio. Las preparaciones constan fundamentalmente de micrita y de algún relicto de microesparita, en los escasos fósiles presentes. La tinción rosada de las láminas denota su naturaleza calcítica. Se aprecian también escasísimos cristales de cuarzo (Fig. 48)

Dismicrita: Las muestras poseen calcita microcristalina (80-90%) con escasas recristalizaciones microesparíticas. Se han observado cristales de yeso alotriomorfo ($\approx 80 \mu\text{m}$) dispersos por algunas preparaciones (Fig. 49).

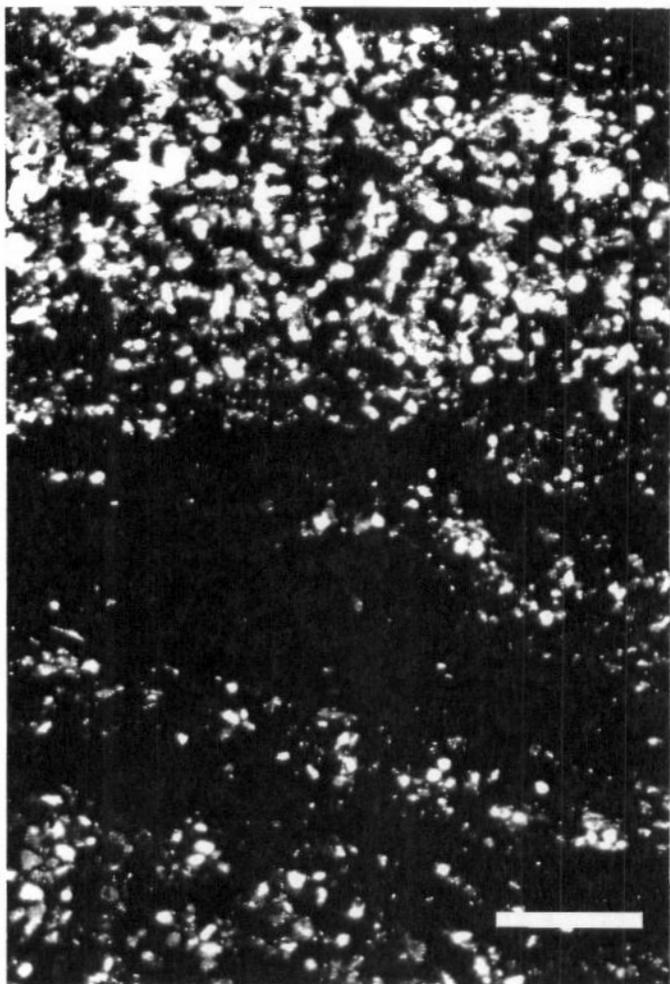


Fig.47.- Limolita calcárea laminada con pellets. Los pellets son de naturaleza dolomicrítica. Muestra LS3-6 (sondeo 3). N.C.; barra escala: 500 μ m.



Fig.46.-Limolita calcárea con nódulos de yeso (Y). Muestra LS3-7 (sondeo 3). N.C.; escala: 500 μ m.

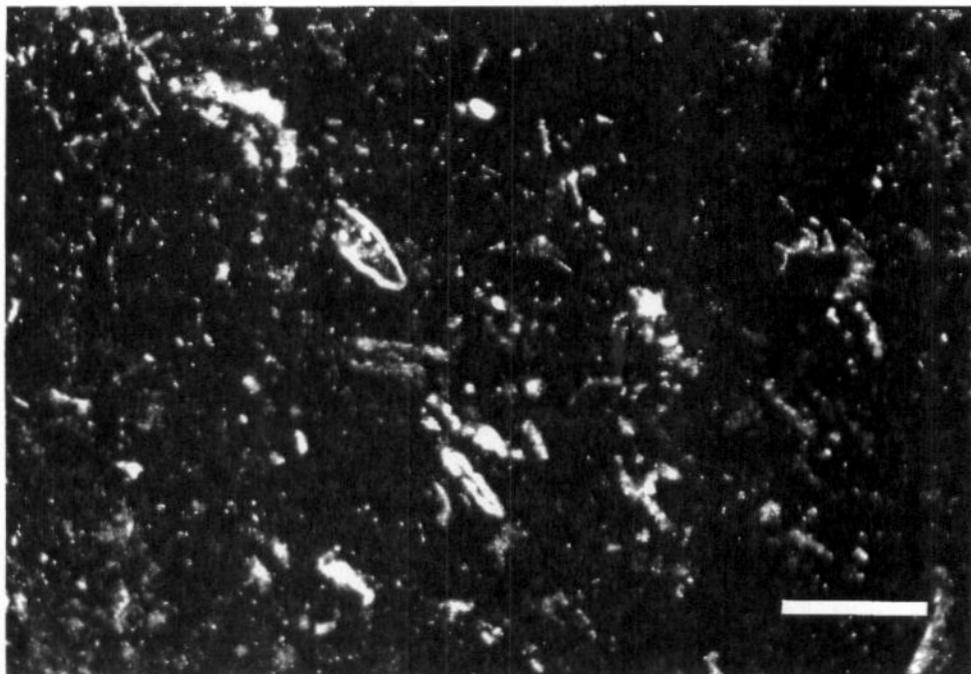


Fig.48 .-Biodismicrita.Muestra LS3-3 (sondeo 1).
N.C.; escala: 500 μ m.

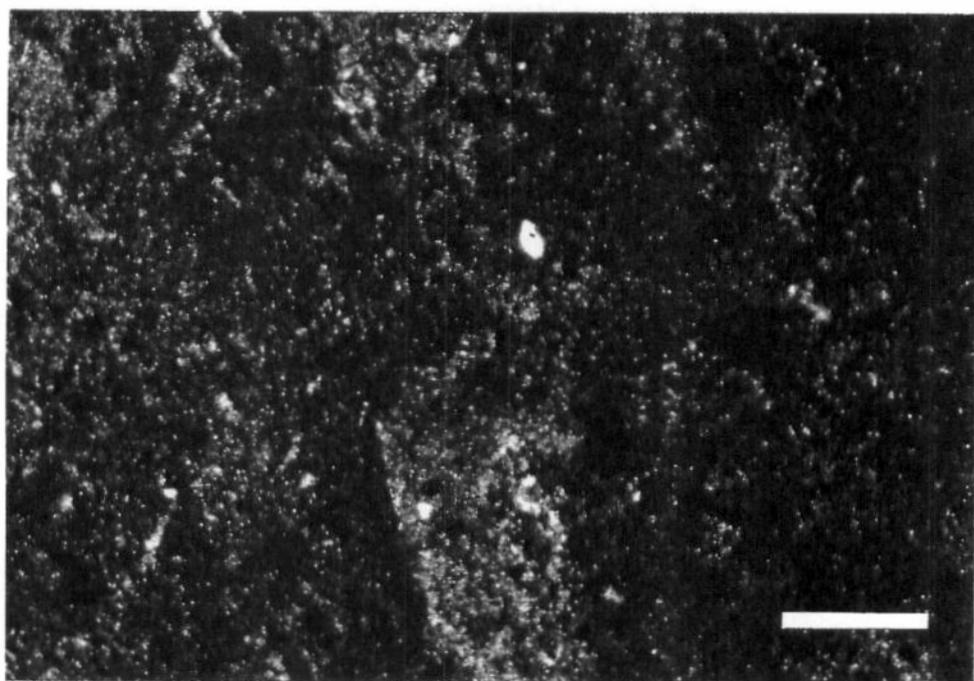


Fig.49 .-Dismicrita con algún cristal de yeso
disperso en la preparación.Muestra LS7-1 (sondeo
7). N.C.; escala: 500 μ m.

VIII.- PETROLOGIA DE LOS MINERALES SULFATADOS DEL AREA DE ESTUDIO

VIII.- PETROLOGIA DE LOS MINERALES SULFATADOS DEL AREA DE ESTUDIO

En la génesis de los minerales evaporíticos sulfatados pueden haber intervenido dos tipos de procesos diferentes en el tiempo:

- 1) Procesos singenéticos o de depósito, que han podido actuar bien por precipitación química directa, a partir de una salmuera rica en iones sulfato y calcio, o bien por sedimentación de clastos detríticos de sulfatos, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas de la cuenca de depósito.
- 2) Procesos epigenéticos o de postdepósito, cuya actuación en el tiempo es de carácter temprano o tardío.

La diagénesis que sufre el depósito evaporítico, facilitada por su elevada solubilidad y la capacidad de transformación mineral mediante los mecanismos de hidratación-deshidratación, enmascara los rasgos texturales primarios de la roca y lo que se observa en el afloramiento no es ni más ni menos que el proceso o procesos que dicha roca ha sufrido más tarde. Sólo un estudio petrológico detallado, junto con el análisis morfológico de los depósitos evaporíticos in situ, puede hacernos tender a dar una interpretación, lo más aproximada posible, acerca de los mecanismos diagenéticos a los que estuvo sometido el depósito.

Atendiendo a dichos mecanismos diagenéticos, las texturas que se pueden observar, tanto microscópicamente como macroscópicamente, dentro de las facies sulfatado-cálcicas son de dos tipos: primarias y secundarias.

Las estructuras y texturas de las facies sulfatado-cálcicas que se dan en los medios actuales, salvo excep-

ciones, son las siguientes:

- * Lamelar
- * Nodular
- * Pegmatítica
- * Masiva
- * Detrítica

Por contra, las texturas secundarias que se pueden observar son:

- * Nodulares
- * Macrocristalinas
- * Masivas

En Mandado (1987) se pueden consultar con más detalle las características texturales y genéticas de las anteriores estructuras y texturas.

De entre las estructuras primarias citadas anteriormente, y para nuestra área de estudio, se ha podido comprobar, exclusivamente, la existencia de la estructura detrítica y la presencia, también, mediante identificación microscópica, de yesos lenticulares de carácter primario.

La estructura detrítica está representada por las arenitas yesíferas, detectadas en los sondeos N°1 y N°8, de cuyas muestras, y a través del microscopio de polarización, se puede observar como los clastos detríticos (cuarzo y calcita fundamentalmente) están cementados por yeso monocristalino y con continuidad óptica, que se ha generado por precipitación química de una solución saturada y en condiciones diagenéticas tempranas.

Los yesos lenticulares se han observado en las

láminas delgadas de las calizas de diversos sondeos (N^{ROS} 3, 4, 8, 9, etc.) y de visu proporcionan a la roca un aspecto picoteado (porosidad móldica) debido a la disolución del cristal de yeso.

Entre las estructuras y texturas de tipo secundario, se describirán solamente las referentes al yeso secundario, que es la única fase mineral sulfatada cálcica (salvo escasos relictos de anhidrita) que se ha detectado en la zona de estudio, y cuyas variedades petrográficas son (Ortí, 1977) :

- * Yeso porfidoblástico
- * Yeso alabastrino
- * Yeso megacristalino

El yeso porfidoblástico lo conforman cristales desde idiomorfos hasta alotriomorfos, de tamaños relativamente grandes. Se interpretan como producto de una hidratación lenta de la anhidrita, en condiciones próximas al estado de equilibrio. Contiene inclusiones o relictos de anhidrita.

El yeso alabastrino se caracteriza por el aspecto homogéneo y microcristalino que afecta a los minerales que lo poseen y en el que se pueden diferenciar, a través del microscopio de polarización, tres componentes básicos:

- a) Agregados microcristalinos alotriomorfos, de dimensiones promedio entre 20 y 50 μm , que asemejan una textura como de matriz yesosa.
- b) Cristales subidiomorfos, con tamaños entre 50 μm y 1 mm, exentos de inclusiones anhidriticas.
- c) Cristales con extinción no uniforme (c.e.n.u.), alotriomorfos y con un gran desarrollo dimensional (milímetros),

que suelen presentar inclusiones de anhidrita y cuya característica principal, bajo la observación del microscopio, es que con el giro de la platina se descomponen en multitud de cristales conexionados entre sí y con diferente orientación de extinción.

El yeso megacrystalino se caracteriza por el desarrollo de grandes cristales (centímetros) con inclusiones de anhidrita.

La estructura secundaria predominante del yeso observado en el área de estudio es la nodular, cuyo carácter secundario se ha podido corroborar tanto en las anotaciones de campo como en el estudio microscópico de las láminas delgadas de los testigos de los sondeos.

En los cortes de las canteras y de carreteras se pueden observar como muchos nódulos de yeso deforman las capas suproyacentes, de naturaleza lutítica-margosa, sin afectar apenas a las capas inferiores (Fig.50). Mandado (1987) cita estructuras semejantes en los alrededores de Fuentes de Ebro.



Fig.50

También son frecuentes (Fig.50) las venas de inyección, originadas por el exceso de yeso que se origina en los procesos de hidratación y que tiende a fracturar hidráulicamente el sedimento circundante.

Por su parte, en el estudio microscópico de las muestras se observan las texturas porfidoblásticas y alabastrias del yeso secundario anteriormente descritas, así como también relictos de anhidrita, vestigio de la fase mineral primaria reemplazada.

Con respecto a la estructura nodular que presenta el yeso secundario, se pueden citar también distintas variedades morfológicas, en función de la relación nódulos/matriz y del tipo de contacto entre los nódulos (Mandado,1987):

- a) Estructura nodular discontinua
- b) Estructura nodular en empalizada
- c) Estructura nodular enterolítica
- d) Estructura nodular en turrón

De todas estas denominaciones, en nuestra área de estudio, se han distinguido los tipos a), b) y d) .

La estructura nodular discontinua hace referencia al aislamiento o dispersión que presentan los nódulos yesíferos en el seno de los materiales lutíticos en los que se hallan inmersos, con o sin contactos nodulares mutuos (Fig 51).Sus dimensiones son muy variables y oscilan, en términos generales, desde 1-2 cm hasta los 30-40 cm.Esta estructura es bastante frecuente en el área investigada, sobre todo en los niveles más inferiores de la columna general de la zona y de manera particular asociada a los niveles de lutitas rojas.

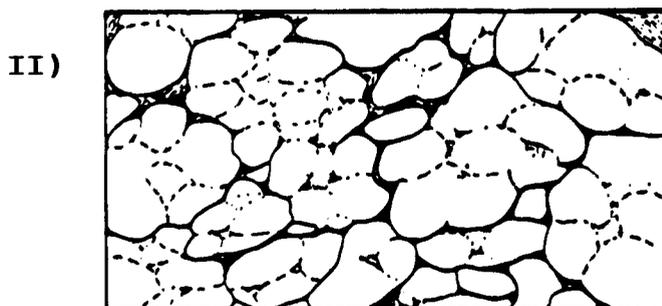
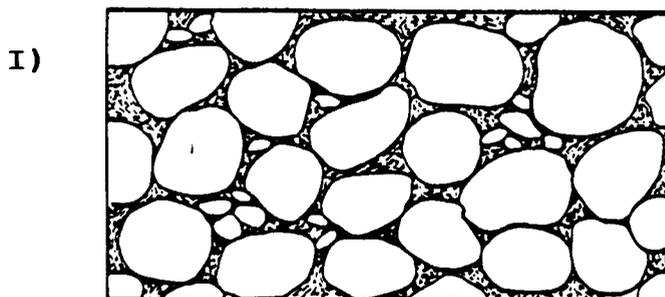
En la estructura nodular en empalizada, los nódulos yesíferos presentan una elongación pronunciada en la



Fig. 51 .- Fragmento de testigo del sondeo N°6 mostrando la textura nodular discontinua. Se aprecian venas de yeso fibroso perpendiculares al eje de perforación del sondeo.

la vertical (longitud/anchura entre 4/1). Esta estructura no es tan frecuente como la anterior y se ha observado en los alrededores del pueblo de Azaila y también en algunas preparaciones microscópicas.

Por último, la estructura nodular secundaria, prioritaria en los depósitos evaporíticos estudiados en este Proyecto, responde a la denominación "en turrón" (Mandado, 1987), que equivale a la denominación inglesa "chicken wire", y cuyos nódulos yesíferos se empaquetan según los subtipos (Mandado, op.cit.):



Subtipo I: Los nódulos tienen tendencia esférica con contacto internodular puntual o bien con cierto contenido de matriz lutítico-margosa.

Subtipo II: Los nódulos se empaquetan más densamente con matriz internodular muy escasa.

Subtipo III: El apretamiento nodular es extremo, con contactos suturados y escasísima matriz.

Las estructuras nodulares "en turrón" que se han observado en el área de estudio pertenecen a los subtipos I y II (Fig.52).



Fig.52.- Nódulo yesífero con textura "en turrón" (subt.II).
Sondeo N°9.

Del estudio microscópico de las muestras sulfatadas obtenidas de los testigos de los sondeos se puede establecer una diferencia textural, agrupando a los mismos.

Así, los sondeos n^{ROS} 2, 3, 4, 5 y 6 (Grupo 1) se engloban dentro de un conjunto en el que las texturas que se observan presentan microtexturas alabastrinas de agregados microcristalinos, de 20-25 μm de tamaño promedio (Fig. 53A,B), existiendo algunas preparaciones microscópicas en las que se observan cristales subidiomorfos (Fig. 54) y porfidoblastos alotriomorfos (Fig. 55), aislados en el seno de la matriz microcristalina.

El otro grupo de sondeos (n^{ROS} 7, 8 y 9) (Grupo 2) presentan las texturas porfidico-alabastrina, donde abundan los cristales de yeso prismático subidiomórficos en el seno de una matriz microcristalina (Fig. 56), la alabastrina de extinción no uniforme (c.e.n.u.), en la que los componentes alabastrinos fundamentales son los c.e.n.u., y la microtextura alabastrina granoblástica, muy frecuente en los testigos de los sondeos n^{ROS} 8 y 9 (Fig. 57).

Los cristales porfidoblásticos observados en los sondeos del Grupo 1, en líneas generales, se sitúan en los bordes del meganódulo de alabastro y en las proximidades de poros y fisuras. Se aprecia, en las láminas delgadas vistas al microscopio, una paulatina disminución del tamaño de grano hacia el núcleo del nódulo, indicándonos que el proceso de alabastrinización ha sido centripeto, es decir de afuera hacia dentro.

Los testigos de los sondeos de Grupo 2 presentan evidencias microscópicas de haber estado sometidos a un cierto grado de recristalización, no observada en los del Grupo 1, con interpenetraciones granulares y sobrecrecimientos cristalinos.

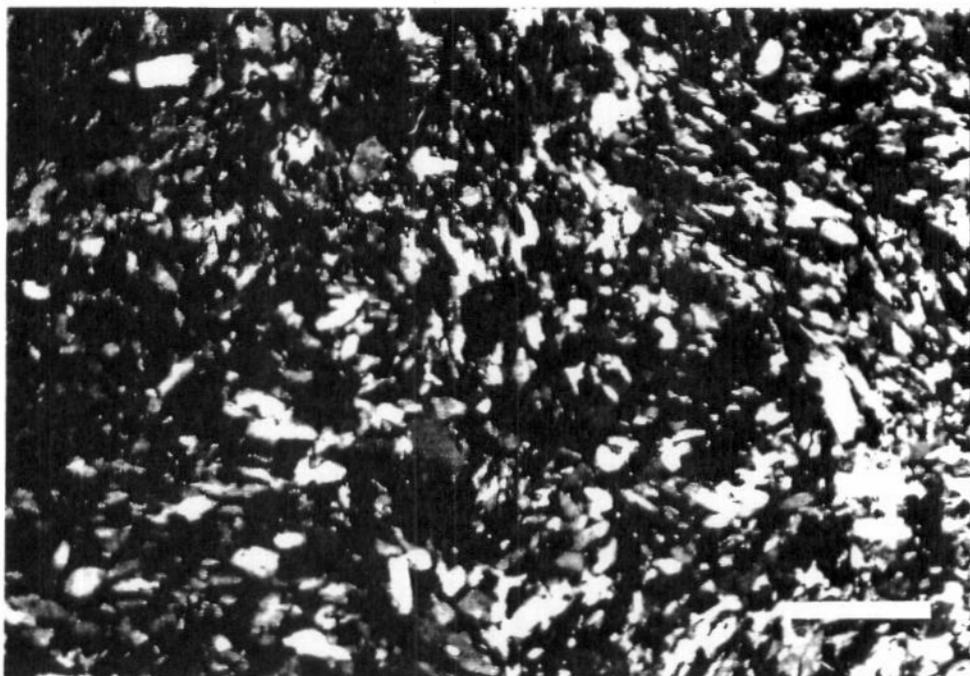


Fig.53A.-Microtextura alabastrina de agregados microcristalinos relativamente heterométricos. Se observa algún cristal subhedral disperso por la preparación. Muestra S3-6B (sondeo 3). Alabastro de la cantera de Herna.N.C.; escala: 500 μ m



Fig.53B.-Microtextura alabastrina de agregados microcristalinos heterométricos. Muestra S5-1 (sondeo 5). Alabastro de la concesión de NALSA (no explotándose). N.C.; escala: 500 μ m.

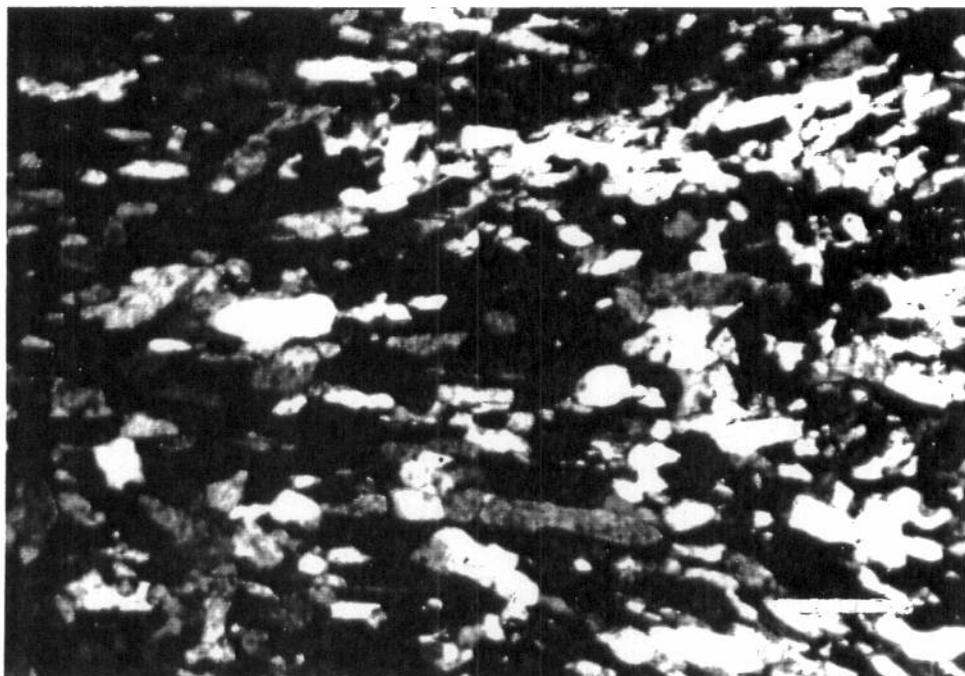


Fig.54 .-Microtextura alabastrina con cristales subhedrales con cierta orientación. Muestra S4-9 (sondeo 4). N.C.; escala: 500 μm .

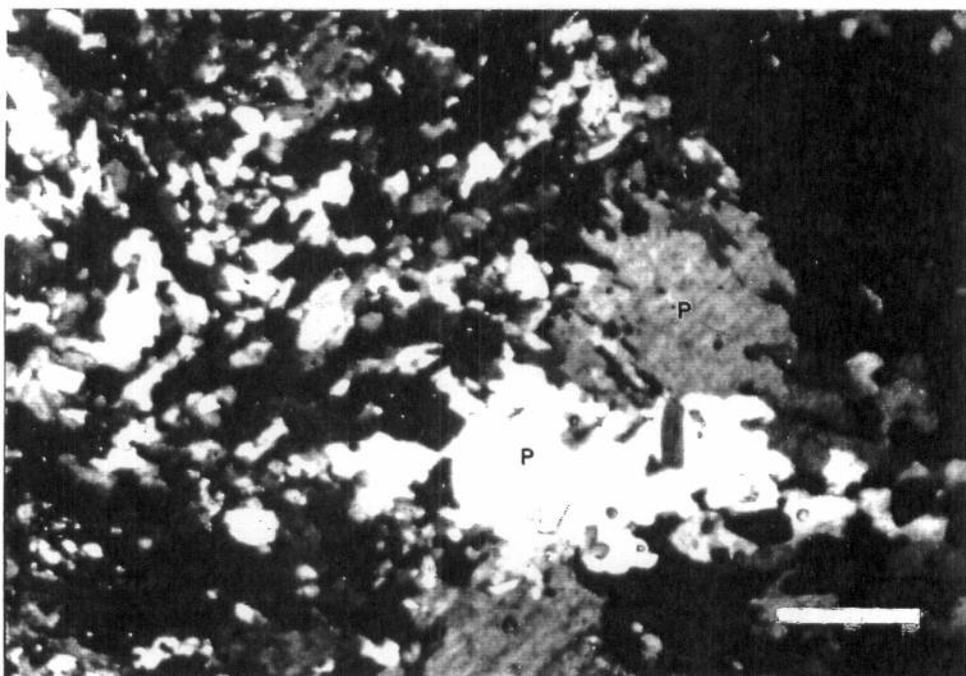


Fig.55 .-Microtextura alabastrina con porfidoblásotos alotriomorfos (P). Muestra S6-1 (sondeo 6). N.C.; escala: 500 μm . Alabastro de la cantera de NALSA que explota la capa Azaila Alta (cota aprox. 290 m).

Los procesos de recristalización se pueden detectar al microscopio al observar como los contactos suturados entre granos, fruto de las texturas de hidratación directa, se transforman en contactos suturados poligonales (Fig. 57), patentes en los cristales de gran desarrollo morfológico como los c.e.n.u. En estos, es frecuente ver (Fig. 57) como los individuos cristalinos que los conforman tienden a individualizarse y a generar cierto límite poligonal entre los mismos. En estadios posteriores de recristalización se originan las texturas granoblástica, con cristales equidimensionales (Fig. 58A y B).

Otra textura del yeso secundario que se pudo observar al microscopio la constituyen las venas de yeso fibroso. Aparecen como pequeños filoncillos que recorren la preparación, saliendo de los nódulos a modo de fluido mineralizante, producto de la transformación anhidrita-yeso. Los cristallitos de yeso, de hábito prismático-alargado, se disponen, paralela y apretadamente unos con otros, de manera perpendicular a la vena o filón por el que discurren.

Otro material sulfatado, observable en el estudio petrográfico de las rocas sedimentarias de la zona investigada, lo constituye el cemento yesífero, que se aprecia en algunas muestras de los sondeos n^{ros} 1 y 8, como agente ensamblador de los granos de cuarzo y calcita que conforman la roca. Es un yeso monocristalino y homogéneo producto de una precipitación química durante la diagénesis del sedimento.

Por último, se puede citar también, la existencia de celestina (SrSO_4) dentro de las diversas preparaciones microscópicas estudiadas. Se presenta en cristales aislados alotrionorfos, de aspecto esquelético, y con dimensiones $< 20 \mu\text{m}$. Su identificación bajo el microscopio es más efectiva empleando nicoles paralelos, ya que dicha fase mineral posee un relieve más acusado que el yeso sobre el cual

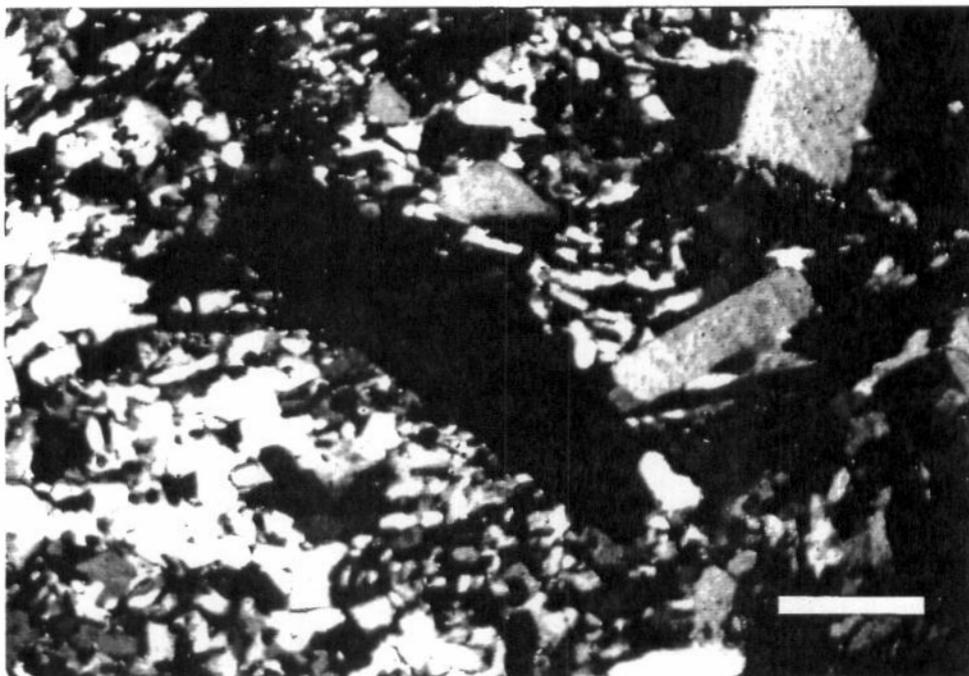


Fig.56 .-Grandes cristales de yeso porfidoblástico en el seno de una matriz microcristalina. Muestra S7-3A (sondeo 7). N.C.; escala: 500 μm .

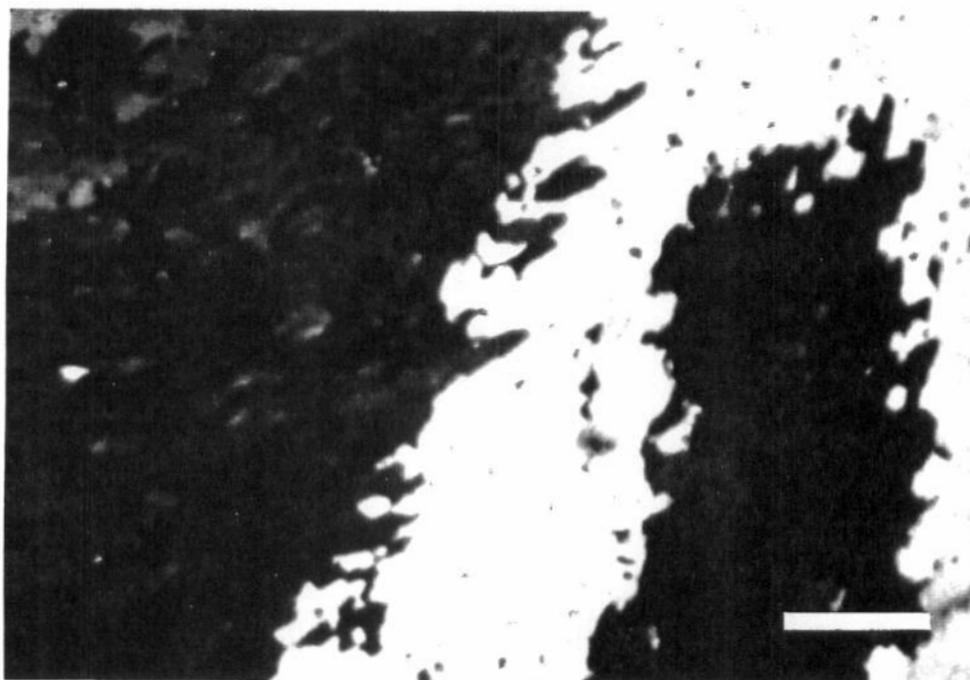


Fig. 57 .-Componentes cristalinos con extinción no uniforme (c.e.n.u.) que muestran contactos suturados poligonales fruto de fenómenos de recristalización. Muestra S7-10C (sondeo 7). N.C.; escala: 500 μm .

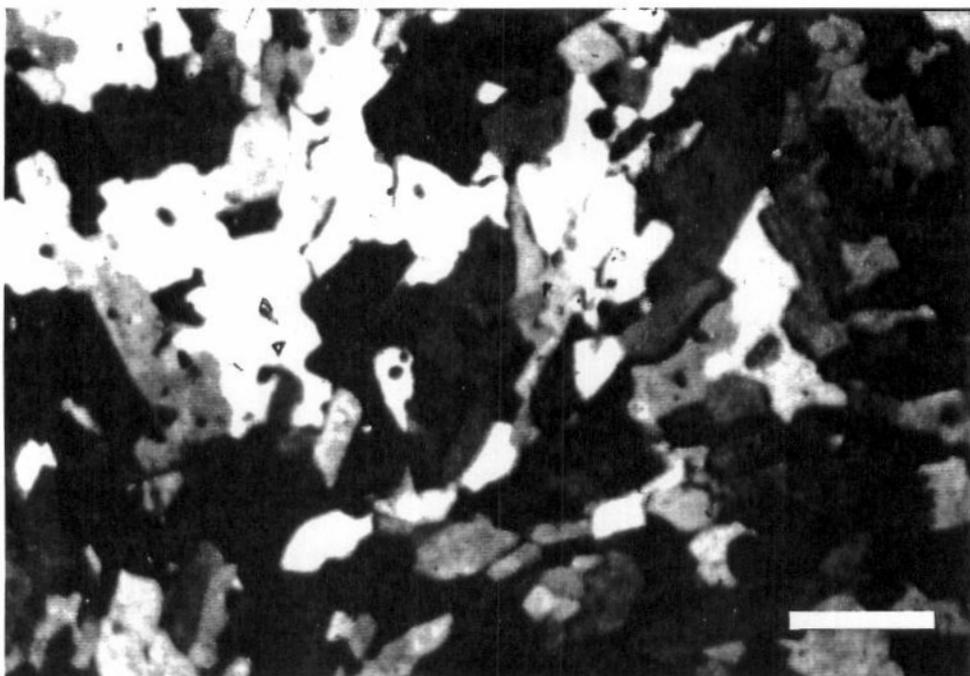


Fig.58A.-Microtextura alabastrina granoblástica con cristales prácticamente equidimensionales, resultado de fenómenos de recristalización. Muestra S8-9D (sondeo 8). N.C.; escala: 500 μm .

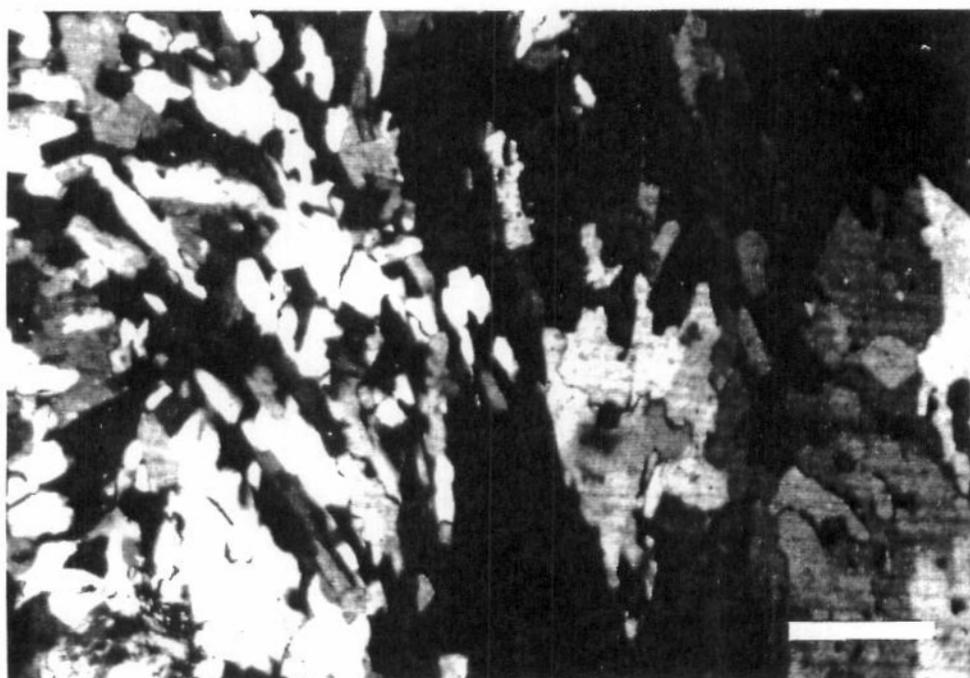


Fig.58B.-Microtextura alabastrina granoblástica con cristales heterométricos. Muestra S9-6B (sondeo 9). N.C.; escala: 500 μm .

se deposita de manera intersticial.

IX.- DESCRIPCION DE LOS YACIMIENTOS Y DATOS DE PRODUCCION

IX.-DESCRIPCION DE LOS YACIMIENTOS Y DATOS DE PRODUCCION

El volumen de trabajos mineros, dentro del área investigada, es notable, repartiéndose los mismos tanto de este a oeste como de norte a sur y a distintas cotas de emplazamiento.

Según datos tomados del Catastro Minero Nacional (1/50.000) con fecha de 1988, dentro de la zona estudiada se pueden diferenciar las ~~condiciones~~ mineras que se exponen en la Tabla 3 .

El alabastro se extrae a cielo abierto, mediante palas y bulldozers que desmontan el terreno. En general, los niveles productivos más próximos a la superficie poseen una cobertera de unos 10-15 m de material estéril que es preciso remover y que condiciona en gran medida la manera de explotación de las canteras (Fig.59). Así, una vez localizada la capa de alabastro a explotar, se efectúa su seguimiento de manera lateral, dentro de la propia concesión, para evitar tener que desmontar todo ese volumen de material que la recubre. Por ello es frecuente seguir, dentro del área estudiada, taludes de cantera con unos 15 m de altura de frente y de hasta 1 a 2 km de longitud. La Figura 60 muestra unas vistas panorámicas de estas explotaciones.

Las canteras existentes dentro del área de estudio se hallan en cotas muy variadas, desde las más elevadas, alrededor de los 280-290 m de altura, en los alrededores del pueblo de Azaila (Teruel), e inactivas en la actualidad, pasando por los niveles extraídos a una cota aproximada entre 245-250 m, con alabastro de gran calidad y transparente, que se beneficia actualmente, y también otro nivel (abandonado), a una cota de 230 m. Finalmente, al seguir descendiendo topográficamente en altura podemos encontrarlos, a una cota aproximada de 185 m, el último grupo de

Nº de registro	Nombre	Fecha de inscrip.	Nº de hectáreas	Término municipal	Provincia	Nombre del concesionario	Dirección	Estado
2468	Valciruela	25-6-76	25,0	Sást.-Alborge	Zaragoza	Soc.Arag.Alab.	Quinto	Inactiva
2711	Terebrátula	25-1-88	324,0	Sást.-Velilla	Zaragoza	Cant.Reun.Alab.	Fitero*	Inactiva
2630	Mamen	7-1-85	300,0	La Zaida-Sást.	Zaragoza	NALSA S.A.	Tudela*	Activa
2466	Gros	19-6-76	26,0	Alforque	Zaragoza	Soc.Arag.Alab.	Quinto	Inactiva
2451	Mundina	28-1-76	21,0	La Zaida	Zaragoza	Soc.Arag.Alab.	Quinto	Activa
2487	Setenal	9-10-74	16,0	Velilla de Ebro	Zaragoza	López Usón S.A.	-	Inactiva
2469	Matamala	25-6-76	17,0	Quinto de Ebro	Zaragoza	Soc.Min.Alabas.	-	Inactiva
5733	Teresa	9-5-86	155,0	Azaila	Teruel	NALSA S.A.	Tudela*	Activa
5622	Josefina	21-5-82	56,0	Azaila	Teruel	HERNA S.A.	Fitero*	Activa

* Navarra

Tabla 3

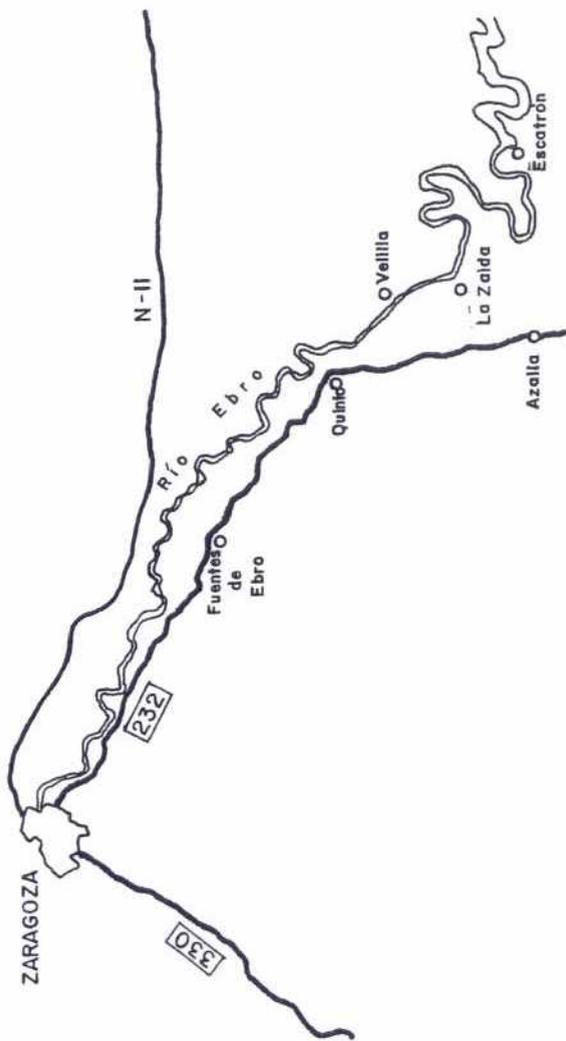
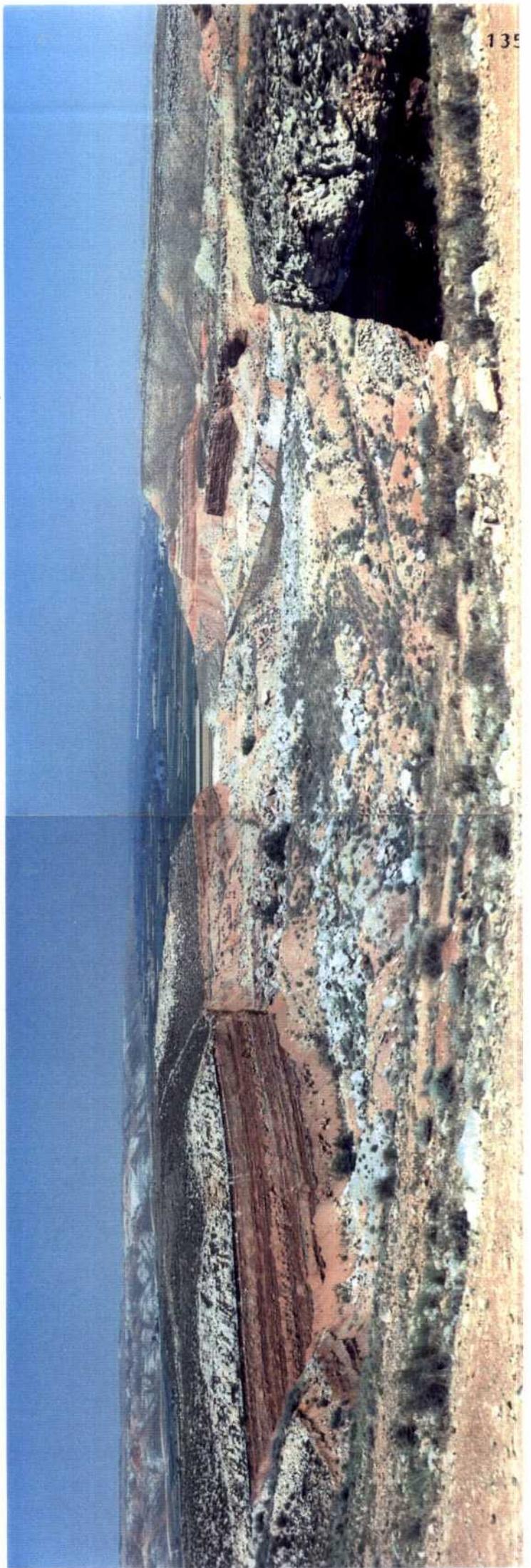


Fig.59.- Vista de las explotaciones de alabastro en las cercanías de Velilla de Ebro.



canteras que extraen los niveles de alabastro.

En la Figura 61 se puede contemplar la ubicación de los niveles productivos de alabastro anteriormente descritos dentro de la columna estratigráfica general de la zona.

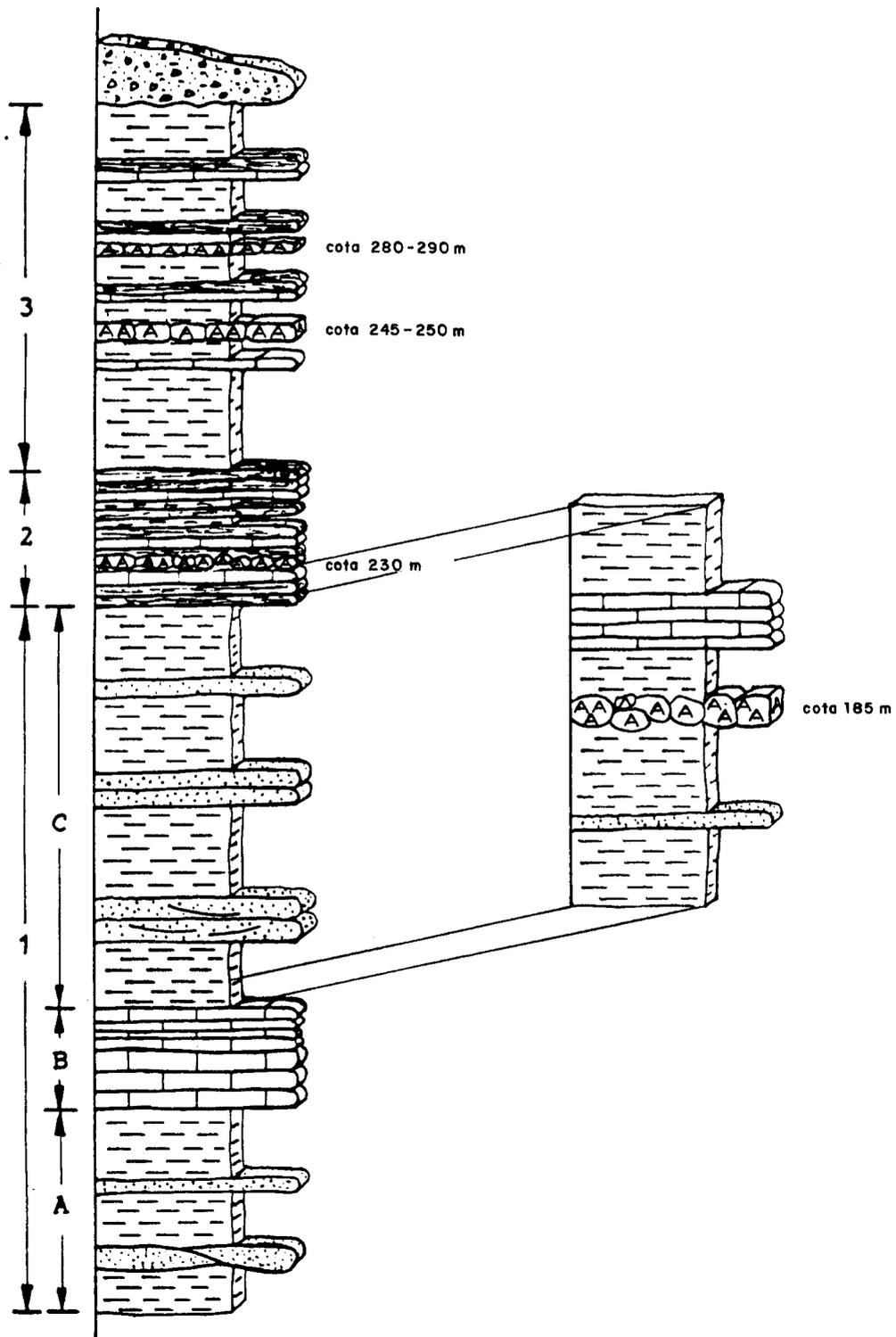


Fig.61

Velilla de Ebro

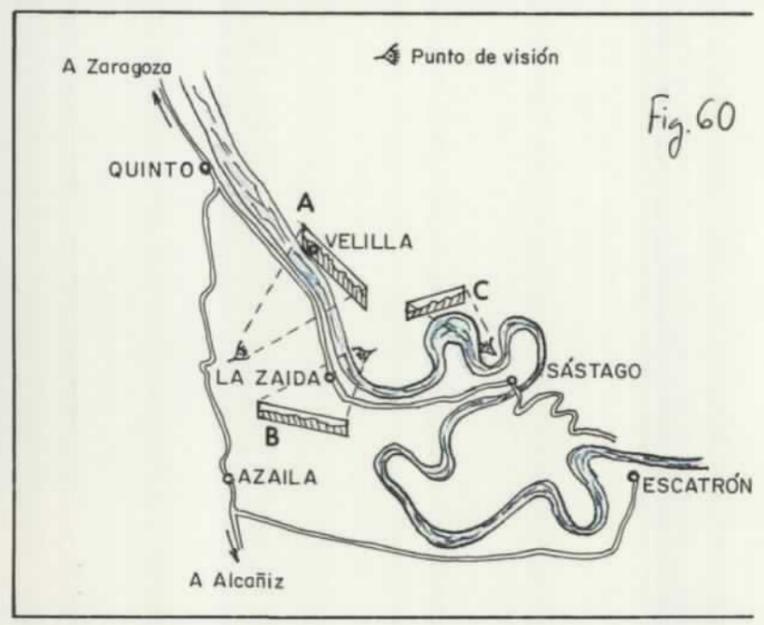


A

La Zaida



B

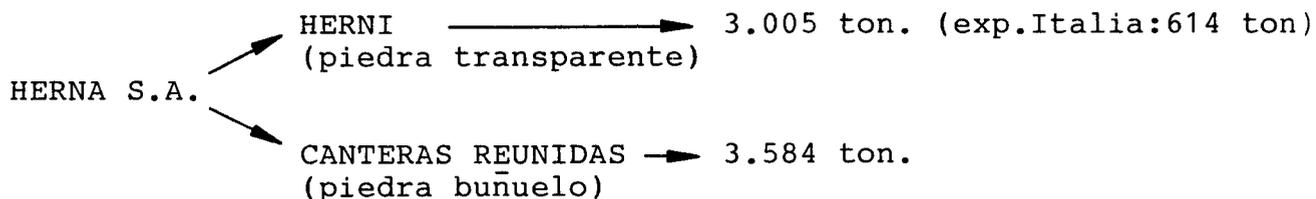


Cinco Olivas



C

Según los datos recabados de los productores, y para las canteras activas dentro de la zona estudiada, la extracción de alabastro durante el año 1989 fue la siguiente:



SOC. ARAGONESA DEL ALABASTRO → 6.000 ton. (exp. Italia: 2400 ton)

NALSA S.A. (exp. práct. tot. Italia): 2.300 ton.

Todos estos datos se refieren a la extracción del alabastro transparente tipo Azaila, salvo las toneladas de CANTERAS REUNIDAS que se refieren a la otra variedad de alabastro, que los canteros nombran "buñuelo", menos translúcido y menos trabajable que el citado en primer lugar, y que se extrae en zonas próximas a Quinto, Fuentes y Albalate del Arzobispo, entre otras localidades.

Todo este alabastro, extraído en las canteras y lugares anteriormente citados, es absorbido, salvo el dedicado a la exportación, por las dos principales localidades españolas elaboradoras del producto final, como son Cintruénigo (Navarra), en primer lugar, y Sarreal (Tarragona).

El alabastro que consumió Cintruénigo, durante 1989, en sus plantas de tratamiento se puede resumir como

sigue (comunicación personal de M.A. Vera):

Alabastro buñuelo : 75 t/día x 22 días/mes x 12 mes./año = 19.800 t/año

Alabastro transparen.: 12,5t/día x 22 días/mes x 12 mes./año = 3.300 t/año

Por su parte, Sarreal tuvo un consumo interno, en líneas generales, como sigue:

Alabastro buñuelo : 20 t/día x 22 días/mes x 12 mes./año = 5.280 t/año

Alabastro transparen.: 5 t/día x 22 días/mes x 12 mes./año = 1.320 t/año

Resumiendo, el consumo total de alabastro en bruto por parte de Cintruénigo y Sarreal es el siguiente:

Alabastro buñuelo : 25.080 t/año

Alabastro transparente : 4.620 t/año

TOTAL : 29.700 t/año

Tomando como precio medio de venta para el alabastro tipo buñuelo en torno a las 10 pta/kg, y para el alabastro transparente alrededor de las 30 pta/kg, el importe en pesetas, obtenido en el año 1989, para la producción anteriormente expuesta es el siguiente:

Cintruénigo:

Alabastro buñuelo : 198.000.000 pta

Alabastro transparente : 99.000.000 pta

TOTAL : 297.000.000 pta.

Sarreal:

Alabastro buñuelo : 52.800.000 pta.

Alabastro transparente : 39.600.000 pta.

TOTAL : 92.400.000 pta.

Sintetizando estos dos últimos datos totales en uno único, se obtiene el valor aproximado, y para el año 1989, del alabastro sin elaborar que se consumió en España :

389.400.000 pta

En la fuentes oficiales de la Estadística Minera de España (Ministerio de Industria y Energía) y de la Estadística del Comercio Exterior de España (Dirección General de Aduanas) no viene contemplado, en la producción nacional de yeso, el término alabastro explícitamente, siendo recomendable su inclusión como tal, ya que si se contemplan los datos totales de la producción española de yesos (746.618 ton. en 1988) (Panorama Minero, 1989), que se valora en unos 3.034 MP, la explotación del alabastro en España, durante 1989, comparada con los datos anteriormente expuestos, representa un 4 % frente al total de yeso mineral extraído y un 13 % del montante económico total que la extracción de dicho mineral genera.

En otras estadísticas oficiales, como las del U.S. Bureau of Mines de los Estados Unidos, tampoco son muy concretas acerca del volumen de producción-rendimiento económico de los depósitos de alabastro que existen en aquel País, encontrándose, de manera simbólica, una cita, en el Mineral Year Book del año 1988 del U.S. Bureau of Mines, donde se puede leer, en el apartado de los productos



Fig.62.- Plaza de cantera, dentro de la concesión minera Teresa de la empresa NALSA S.A., en la que se muestra el apilamiento de diversos nódulos de alabastro con la morfología tabular paralelepédica.

de yeso que se importan, al alabastro con unos movimientos económicos anuales como sigue:

1983	.....	1.922.000	\$
1984	.....	3.300.000	\$
1985	.....	5.173.000	\$
1986	.....	6.817.000	\$
1987	.....	6.080.000	\$
1988	.....	4.877.000	\$

X.- MORFOLOGIA DE LOS CUERPOS MINERALES DE ALABASTRO

X .- MORFOLOGIA DE LOS CUERPOS MINERALES DE ALABASTRO

Morfológicamente, los cuerpos minerales de alabastro poseen un aspecto nodular y se disponen en capas de gran continuidad lateral (kilómetros). Su potencia es muy variable, existiendo niveles nodulares desde los 5 cm hasta los 3 m de espesor, aunque la mayoría de los nódulos poseen potencias entre 0,40 y 1 m, siendo de hecho éstas las dimensiones más habituales que se obtuvieron en los testigos de los sondeos y en las observaciones de campo, a pie de cantera.

Por otro lado, a la hora de explotar o beneficiar la capa meganodular de alabastro es preciso tener una mínima potencia (\approx 35-40 cm), ya que los bolos que se extraen poseen una envuelta más o menos dura de algunos centímetros de espesor, constituida por materiales margoso-arcillosos, que es preciso eliminar, y a modo de símil, se podría decir que el proceso sería equivalente al pelado de frutos como la nuez o la avellana para obtener el producto comestible.

Las canteras situadas a una cota de 260 m benefician un alabastro con una morfología nodular-tabular, con tendencia paralelepípedica, y con una potencia entre 40-50 cm (Fig. 62). Por contra, las canteras situadas a una cota de 185 m, en los alrededores del Barranco de Lopín y entre Velilla de Ebro y Alforque, presentan un alabastro en nódulos más redondeados, de grandes dimensiones, coalescentes entre sí y con textura fluidal internodular (Fig. 63).

El alabastro que se extrae hoy en día en las canteras que se encuentran dentro de la zona de estudio es del tipo "transparente" (translúcido) exclusivamente y posee diversas coloraciones, pero predominando el color blanco por encima de todas.

Se apreciaron coloraciones rojizas en un nivel

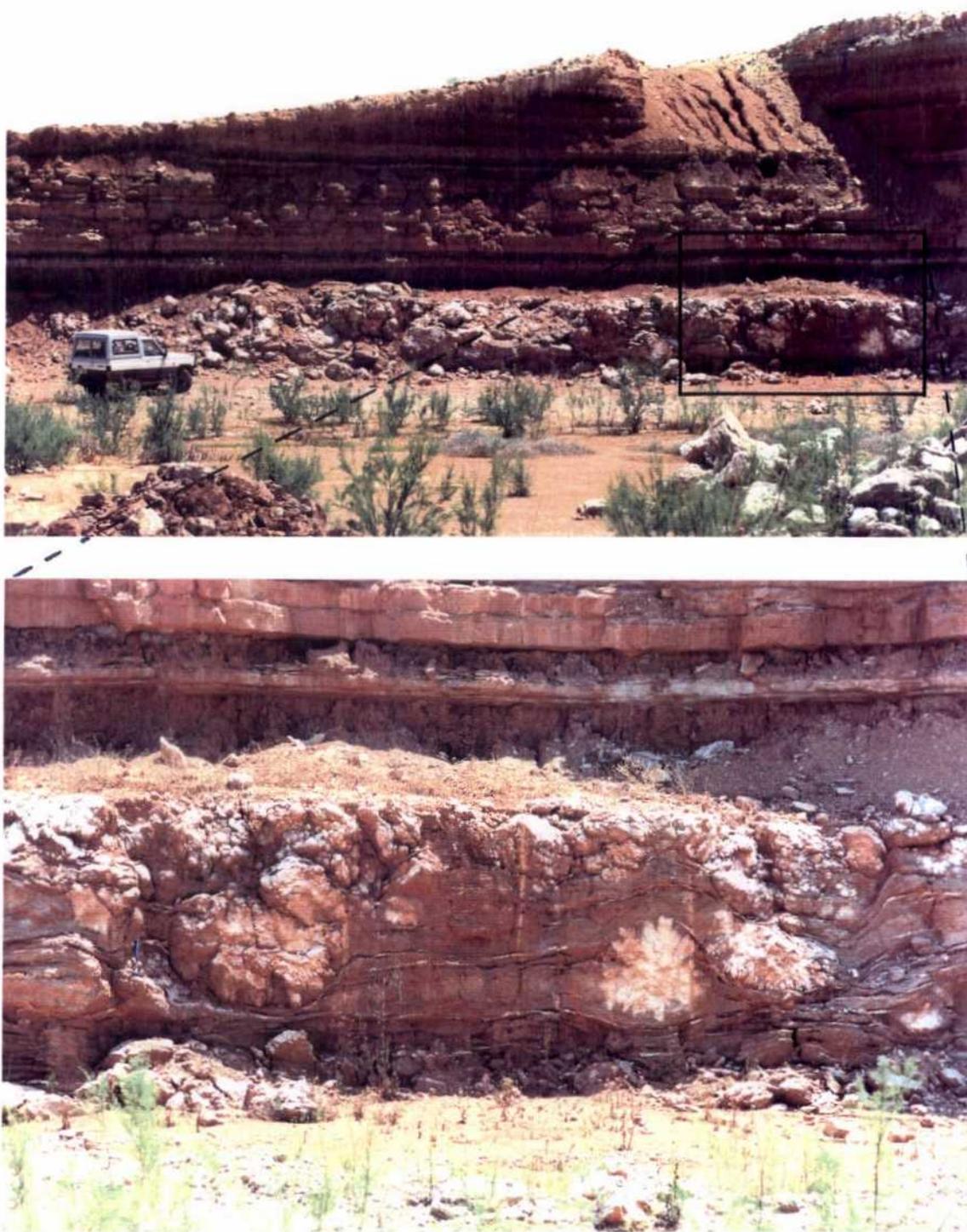


Fig. 63.- Vista general y de detalle de la capa meganodular de alabastro que se extrae dentro de la concesión minera Mundina (SOC.ARAG.ALABASTRO), en el Barranco de Lopín. Obsérvese la elevada potencia de la capa y la textura fluidal que envuelve a los nódulos redondeados de alabastro.

nodular del sondeo N^o7 (ver columna estratigráfica) y también, a nivel de campo, se han observado nódulos aislados de color rosado (\emptyset 25 cm) dentro del tramo 2 de la columna estratigráfica general del área, en las canteras próximas al pueblo de La Zaida.

En la concesión minera Teresa de la empresa NALSA S.A., además del color blanco que posee el alabastro extraído de sus canteras, se aprecian coloraciones amarillentas acarameladas.

Otro aspecto morfológico que se ha observado, esta vez afectando a la estructura interna del nódulo de alabastro, es la progresiva disminución tanto de la configuración multinodular externa del bolo como del tamaño de grano de los cristales. En el esquema de la Figura 64 se expone gráficamente lo dicho con anterioridad, y que vuelve a confirmar la hidratación centripeta que han sufrido los meganódulos de alabastro de la zona.

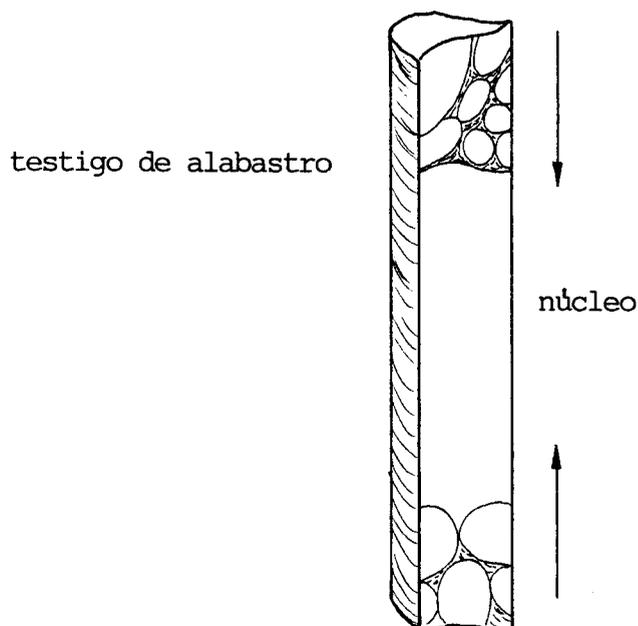


Fig. 64

XI.- ANALISIS GRANULOMETRICOS, MINERALOGICOS Y QUIMICOS DE LAS ROCAS
ARCILLOSAS

XI.- ANALISIS GRANULOMETRICO, MINERALOGICO Y QUIMICO DE LAS ROCAS ARCILLOSAS

Los ensayos analíticos efectuados sobre los sedimentos lutíticos, que suelen constituir la principal roca de caja de los cuerpos minerales de alabastro, se realizaron en los laboratorios del ITGE, sitios en Tres Cantos (Madrid), y tuvieron como objeto el complementar los sondeos efectuados e intentar dar una interpretación paleogeográfica del entorno estudiado. En total, se analizaron 44 muestras de las que seis de las mismas procedían de afloramientos en canteras y el resto se tomaron de los testigos de los sondeos. Todas ellas fueron sometidas a unos análisis granulométricos, mineralógicos y químicos cuyas metodologías de trabajo y resultados son los siguientes:

* Análisis granulométricos: Las muestras, de aproximadamente 1 Kg de peso, se trocearon hasta unos 8 mm de tamaño para la realización de un cuarteo, del que se extrajeron tres partes, una para su análisis químico, otra para la determinación de la humedad y la otra para el análisis granulométrico, que fue sumergida en agua durante cuarenta y ocho horas para su posterior agitación.

El análisis granulométrico en sí se inicia en tamización húmeda (serie ASTM) hasta la fracción superior a las 62 μm . El cernido se introduce en un "cyclosizer" que clasifica la granulometría hasta las 12 μm . El material por debajo de esta última fracción de corte se introduce en un "sedigraph" para completar los tamaños granulométricos a obtener.

Los resultados obtenidos en el análisis granulométrico de las muestras se pueden contemplar en la Tabla 4 .

UNIDAD GEOLOGICA	MUESTRAS	< 2	2-4	4-8	8-16	16-32	32-62	> 62	ARCILLA	LIMO	ARENA
		μm									
U.T.S. : T ₄	<u>Sondeo 1</u>										
	S1-1	35,54	6,46	2,31	9,33	15,96	15,51	14,89	42,00	43,11	14,89
	S1-2	45,93	8,96	0,56	9,58	13,10	9,70	12,17	54,89	32,94	12,17
	<u>Sondeo 2</u>										
	S2-1	65,26	11,01	1,57	8,11	10,61	3,23	0,21	76,27	23,52	0,21
	S2-2	61,08	5,43	0,68	8,11	16,64	7,22	0,84	66,51	32,65	0,84
	<u>Sondeo 3</u>										
	S3-1	44,48	9,81	3,92	13,89	17,58	9,45	0,87	54,29	44,84	0,87
	S3-2	62,39	9,65	1,49	7,95	13,28	4,38	0,86	72,04	27,10	0,86
	S3-3	54,20	7,65	1,27	9,30	20,75	6,23	0,60	61,85	37,55	0,60
	S3-4	36,88	13,41	3,35	14,87	22,95	7,99	0,55	50,29	49,16	0,55
	S3-5	20,97	10,83	1,35	9,45	32,86	23,12	1,42	31,80	66,78	1,42
	<u>Sondeo 4</u>										
	S4-1	46,71	12,86	4,06	13,70	18,91	3,60	0,16	59,57	40,27	0,16
	S4-2	53,18	14,37	2,87	10,24	14,51	3,84	0,99	67,55	31,46	0,99
	S4-3	79,53	8,13	1,81	2,60	5,23	2,32	0,38	87,66	11,96	0,38
	S4-4	77,41	8,90	1,78	3,54	4,37	2,74	1,26	86,31	12,43	1,26
	S4-5	65,63	12,15	2,43	6,54	9,43	3,39	0,43	77,78	21,79	0,43
	S4-6	67,61	18,03	3,61	4,79	3,95	1,73	0,28	85,64	14,08	0,28
	S4-7	68,42	12,67	2,96	5,63	7,08	1,65	1,59	81,09	17,32	1,59

Tabla 4

UNIDAD GEOLOGICA	MUESTRAS	< 2	2-4	4-8	8-16	16-32	32-62	> 62	ARCILLA	LIMO	ARENA
		μm									
U.T.S. : T ₄	<u>Sondeo 5</u>										
	S5-1	84,12	1,75	0,88	4,74	5,22	2,03	1,26	85,87	12,87	1,26
	S5-2	60,87	2,65	1,32	9,89	13,99	6,31	5,19	63,52	31,29	5,19
	S5-3	69,44	3,77	1,51	7,60	10,73	5,54	1,62	73,21	25,17	1,62
	S5-4	13,45	5,11	2,15	9,94	11,59	35,11	19,25	18,56	62,19	19,25
	<u>Sondeo 6</u>										
	S6-1	62,29	10,77	3,07	7,89	11,95	3,62	0,41	72,56	27,03	0,41
	S6-2	43,56	11,22	6,60	12,17	18,27	6,03	1,35	54,78	48,87	1,35
	S6-3	57,25	9,19	2,83	7,24	13,44	7,07	2,98	66,44	30,58	2,98
	S6-4	75,82	1,61	1,61	5,65	9,58	4,54	1,19	77,43	21,38	1,19
	S6-5	75,42	0,79	1,57	6,41	11,05	4,39	0,37	76,21	23,42	0,37
	<u>Sondeo 7</u>										
	S7-1	59,07	9,03	1,04	8,67	15,02	6,44	0,73	68,10	31,17	0,73
	S7-2	61,87	7,37	3,68	5,80	11,36	7,54	2,38	69,24	28,38	2,38
	S7-3	40,38	10,82	8,62	18,59	14,61	5,35	1,60	51,20	47,20	1,60
	S7-4	53,86	8,64	3,32	6,18	15,13	10,61	2,26	62,50	35,24	2,26
	<u>Sondeo 8</u>										
	S8-1	53,62	15,86	3,78	10,65	11,41	3,43	1,25	69,48	29,27	1,25
	S8-2	25,65	5,81	6,77	13,43	7,70	6,87	33,77	31,46	65,23	33,77
	S8-3	63,31	10,55	0,76	9,31	11,41	4,14	0,52	73,86	25,62	0,52
S8-4	29,79	7,45	5,32	16,63	16,27	10,76	13,78	37,24	48,98	13,78	

Tabla 4

UNIDAD GEOLOGICA	MUESTRAS	< 2	2-4	4-8	8-16	16-32	32-62	> 62	ARCILLA	LIMO	ARENA
		μm									
U.T.S. : T ₄	<u>Sondeo 9</u>										
	S9-1	58,34	9,72	2,24	12,89	10,69	1,96	4,58	68,06	27,36	4,58
	S9-2	26,31	13,57	0,82	24,62	31,09	3,04	1,02	39,88	59,10	1,02
	S9-3	60,11	12,77	1,50	8,07	11,12	5,66	1,62	72,88	25,50	1,62
	S9-4	53,57	12,88	0,68	11,14	16,02	7,76	0,44	66,45	33,11	0,44
	S9-5	75,56	11,06	3,69	6,33	2,90	0,56	0,04	86,62	13,34	0,04

Tabla 4

* Análisis mineralógicos: El estudio mineralógico de las muestras lutíticas, tomadas de los testigos de los sondeos, ha seguido la metodología habitual que se suele realizar en el laboratorio de difracción de rayos X del ITGE, empleando un difractómetro Philips, modelo PW 1710, con rendija automática y un voltaje de 40 Kv y una intensidad de 40 mA.

La mineralogía se estudió sobre la muestra tal cual venía (todo-uno), mediante un barrido difractométrico entre 2 y 60° de 25 minutos de duración. La fracción arcillosa fue obtenida mediante una suspensión acuosa en probetas, con la ayuda de unas gotas de hexametáfosfato sódico, obteniéndose agregados orientados con unos recorridos gráficos entre 2 y 30° y durante 12 minutos de tiempo. Estos agregados, cuando así lo requería la identificación de la fase mineral arcillosa, fueron sometidos a las pruebas clásicas de hinchamiento, por tratamiento con etilen-glicol, y de colapsamiento, por calentamiento a 550°C durante una hora. La duración del barrido, entre 2 y 15°, es de 5 minutos.

En los resultados de las muestras analizadas se indican los minerales principales no arcillosos, con sus accesorios y trazas, y para la fracción arcillosa se efectúa una estimación semicuantitativa de su abundancia, por la medida de las áreas de los picos. Se considera contenido bajo al menor del 30%, contenido medio al comprendido entre el 30-50%, contenido alto al superior al 50% y contenido muy alto por encima del 75% .

En la Tabla 5 se recogen los resultados obtenidos y de cuya observación se desprende que los materiales investigados se depositaron en un medio de carácter mixto entre químico y detrítico, con series más o menos lutítico-margasas, yesíferas y carbonatadas, junto con materiales detríticos como el cuarzo y los feldespatos.

UNIDAD GEOLOGICA	MUESTRAS	M. Principal	Acc. y Trazas	Contenido	FRACCION ARCILLOSA	
					M. Principal	Acc. y Trazas
U.T.S. : T ₄	<u>Sondeo 1</u>					
	S1-1	cuarzo, calcita	feldespatos	med/bajo	mica	esmect. clorita
	S1-2	cuarzo, calcita	dol. feldesp. yeso	medio	mica	caol. clorit. talco
	<u>Sondeo 2</u>					
	S2-1	cuarzo	dol. calc. feldesp.	medio	mica	esmect. caol. talco
	S2-2	cuarzo	dol. calc. feldesp.	medio	mica	clorita, talco
	<u>Sondeo 3</u>					
	S3-1	cuarzo	calc. dol. feldesp.	medio	esmect. mica	clorita
	S3-2	cuarzo	calc. dol. feldesp.	medio	mica	esmect. clorita
	S3-3	cuarzo	dol. calc. feldesp.	medio	mica	clorita, talco
	S3-4	cuarzo	dol. calc. feldesp.	medio	esmect. mica	clorit. talco, caol.
	S3-5	cuarzo, calcita	dol. feldesp. yeso	med/bajo	esmect. mica	clorita
	<u>Sondeo 4</u>					
	S4-1	cuarzo	calcita, dolomita	medio	esmectita	clorita, mica
	S4-2	cuarzo	yeso, calc. dol. aragonit.	medio	esmectita	clorita, mica
	S4-3	cuarzo	dolomita, calcita	medio	mica	esmect. clorita
	S4-4	cuarzo	calc. dol. aragonito	medio	mica	esmect. clorita
	S4-5	cuarzo	dol. calc. feldesp.	medio	esmectita	clorita, mica
	S4-6	cuarzo, dolomita	yeso, calc. feldesp.	medio	mica	clorit. esmec. talco
	S4-7	cuarzo	calc. dol. yeso	medio	mica	clorit. esmec. talco

Tabla 5

UNIDAD GEOLOGICA	MUESTRAS	M. Principal	Acc. y Trazas	Contenido	FRACCION ARCILLOSA	
					M. Principal	Acc. y Trazas
U.T.S. : T ₄	<u>Sondeo 5</u>					
	S5-1	cuarzo	yeso, calc. dolomita	medio	mica	clorita, esmectita
	S5-2	cuarzo	yeso, calc. dolomita	medio	mica	clorita, esmectita
	S5-3	cuarzo	calc. dol. aragonito	medio	mica	clorit. talco, esmec.
	S5-4	cuarzo	calc. dol. yeso, feldesp.	medio	esmectita	mica, clorita, talco
	<u>Sondeo 6</u>					
	S6-1	cuarzo, dolomit.	calcita, aragonito	med/alto	esmectita	clorita, mica
	S6-2	cuarzo, dolomit.	calc. yeso, feldesp.	alto	esmectita	clorita, mica
	S6-3	cuarzo, calcita	dolomita, aragonito	medio	esmectita	clorita, mica
	S6-4	cuarzo, calcita	dolomita	medio	esmectita	clorita, mica
	S6-5	cuarzo	calcita, dolomita	medio	mica	clorita, esmectita
	<u>Sondeo 7</u>					
	S7-1	cuarzo, calc. dol.	feldespatos	med/bajo	mica	esmec. clorita, caol.
	S7-2	cuarzo, calc. dol.	feldesp. yeso	med/bajo	mica	esmectita, clorita
	S7-3	cuarzo, dolomit.	feldesp. yeso	med/alto	esmectita	mica, clorita
	S7-4	dolomit. cuarzo	feldesp. yeso	medio	esmectita	mica, clorita
	<u>Sondeo 8</u>					
	S8-1	calc. dol. cuarzo	feldesp. yeso	medio	mica	esmectita, clorita
	S8-2	cuarzo, dolomit.	feldespatos	med/alto	mica, esmectita	clorita
	S8-3	cuarzo, calc. dol.	feldespatos	medio	mica	esmectita, clorita
	S8-4	calcita	cuarzo, dol. feldes.	alto	esmectita	mica, clorita

Tabla 5

UNIDAD GEOLOGICA	MUESTRAS	M. Principal	Acc. y Trazas	FRACCION ARCILLOSA		
				Contenido	M. Principal	Acc. y Trazas
U.T.S. : T ₄	<u>Sondeo 9</u>					
	S9-1	dolomita	cuarzo, yeso, calc. feld.	bajo	esmectita, mica	clorita
	S9-2	dolomita	cuarzo, yeso, calcita	bajo	esmectita, mica	clorita, caol.
	S9-3	calcita	cuarzo, feldespatos	medio	mica	caol. clorita, esmec.
	S9-4	calc. dol. cuarzo	feldespatos	medio	mica, caolinita	clorita
	S9-5	dol. calc. cuarzo	-	med/bajo	esmectita, mica	-

Tabla 5

De manera resumida la mineralogía encontrada fue la siguiente:

Minerales no arcillosos:

cuarzo
 calcita
 aragonito
 dolomita
 feldespatos
 yeso

Minerales arcillosos:

mica (illita)
 esmectita
 clorita
 caolinita
 talco

Como minerales no arcillosos predominantes se hallan el cuarzo, sobre todo, la calcita y la dolomita, bien individualmente o en asociación combinada.

Con respecto a los sondeos realizados, el conjunto **que los agrupa** con la numeración 7, 8 y 9 posee generalmente una asociación tripartita de cuarzo, calcita y dolomita, como minerales no arcillosos principales, e incluso tanto la calcita como la dolomita tienden a ser más abundantes que el cuarzo. Los sondeos situados en cotas más elevadas presentan un mayor contenido de minerales detríticos (cuarzo y feldespatos). Un hecho significativo es la detección de aragonito en algunas muestras de los sondeos n^{ros} 4, 5 y 6 a nivel de trazas.

Los minerales de la arcilla que se han identificado fueron los siguientes: illita, esmectita, clorita, caolinita y talco. En la Tabla 5 se recogen los resultados obtenidos.

La illita y la esmectita son los minerales arcillosos predominantes, mientras que la clorita, la caolinita y el talco se encuentran como trazas.

La illita es, sin lugar a dudas, el mineral de la arcilla más abundante en los sedimentos del área de estudio. Se halla en la totalidad de las muestras analizadas, tanto como fase mineral principal como de manera accesoria. Se la puede considerar como un mineral arcilloso heredado de micas aportadas a la cuenca de sedimentación. Diversos autores (González Martínez, et al. 1986), y en zonas próximas a la investigada, apoyan esta hipótesis.

La illita se encuentra individualmente o asociada con la esmectita, siendo claramente predominante en los tramos 2 y 3 (parte superior) de la columna estratigráfica general del área de estudio

La caolinita es un mineral poco abundante y se relaciona con las litologías donde el aporte detrítico es notorio. Su presencia en niveles con facies de yesos, de marcado carácter químico, nos revela que la caolinita es un mineral de la arcilla muy estable en las nuevas condiciones fisico-químicas en las que se encuentra dentro de la cuenca.

El talco se encuentra generalmente asociado a la clorita y aparece en forma de trazas. Se ha detectado en la parte alta del tramo 2 y en la zona de tránsito con el tramo 3, dentro de la columna estratigráfica general de la zona, y también en el sondeo 1. Se le puede considerar como un mineral heredado, acompañando a otros minerales detríticos como el cuarzo y la caolinita, ya que la diagénesis temprana, si le hubiese afectado, tendría su reflejo en el aumento de la cristalinidad de otros minerales arcillosos y esto no ocurre. Como señala Weaver (1989), el talco suele ser predominante en la compañía de minerales anhidríticos.

La clorita es un mineral arcilloso escaso y con poca cristalinidad, posiblemente aportada a la cuenca de sedimentación y en clara asociación con la illita, la caolinita y el talco.

La esmectita es de tipo dioctaédrico y presenta una gran cristalinidad. Este alto parámetro cristalquímico parece que permite suponer que se trata de minerales de neoformación, como así ocurre en los materiales analizados por González Martínez, et al. (1986) en los alrededores de Escatrón-Sástago. Ahora bien, tampoco hay que desdeñar la posibilidad de que procedan de la degradación de illitas, representando los episodios finales de alteración de cada ciclo de aporte de sedimentación a la cuenca, cuando la alteración química es más intensa.

De todo lo expresado anteriormente se desprende que la evolución vertical de la secuencia sedimentaria existente en el área de estudio comienza con unos estadios de asentamiento de facies lacustres, relativamente someras, con procesos de dolomitización, precipitación de yesos y nódulos de anhidrita, y aportes detríticos de cierta potencia, con estructuras arenosas canalizadas y colmataciones de sedimentos finos (lutitas).

Por progradación, y sobre los materiales anteriores, se depositan limolitas finamente laminadas en un medio somero y de carácter reductor, sobre las que se vuelven a depositar, por un efecto de regresión, sedimentos lacustres secuenciales (lutita, caliza, limolita). Hacia los niveles superiores, dentro del área de investigación (cotas alrededor de los 320 m en adelante), los aportes detríticos vuelven a ser nuevamente evidentes (sondeo n°1).

* Análisis químicos: La metodología seguida fue la siguiente:

Se analizaron dos fracciones granulométricas, en primer lugar, el todo-uno y, en segundo lugar, la fracción inferior a 12 μm . Los elementos químicos analizados fueron los siguientes: Si, Al, Fe, Ti, Ca, K, Mg, Na y Mn, además de la presencia de sulfatos (SO_4^{2-}) y la pérdida por calcinación (Ppc).

Por fluorescencia de rayos X se han analizado la mayoría de los elementos químicos investigados, salvo el Na, trabajando con un equipo Philips 1404 con las siguientes condiciones: tubo de escandio-molibdeno con una intensidad media, según el elemento a analizar, de 70 mA y con un potencial de 30 Kv. Las muestras a analizar, en pastillas perladas mediante fusión, constaban de 1 gr de material junto con 5 gr de tetraborato de litio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$), siendo los cristales analizadores utilizados, LiF (200) para Fe, Ca, Ti, Mn y K, PET para Si, Al y PX1 para Mg. Los patrones de calibrado que se emplearon pertenecen a la British Chemical Standard (BCS), al National Bureau of Standard (NBS) y al South Africa Bureau of Standard (NIM).

Mediante espectrofotometría de absorción atómica, con un equipo modelo IL-951, se analizó el elemento Na, siendo las condiciones analíticas las siguientes:

Na: determinación por emisión ($\lambda = 589 \text{ nm}$) con una llama aire-acetileno y con la posición del mechero cruzada frente a la óptica del equipo.

El contenido en SO_4^{2-} de las muestras se analizó gravimétricamente y, según esta técnica, los contenidos inferiores al 0,15% en peso son prácticamente indetectables, por lo que la presencia de sulfatos próximos a dicho valor o ligeramente por debajo se consideran como indicios débiles.

Los resultados obtenidos pueden ser contemplados en las columnas estratigráficas de los nueve sondeos efectuados, tanto los correspondientes al todo-uno como a la fracción inferior a $12 \mu\text{m}$.

XII.- CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS DE LOS NIVELES DE ALABASTRO

XII.- CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS DE LOS NIVELES DE ALABASTRO

Después de comprobar, mediante los estudios petrográficos llevados a cabo sobre diversas muestras de alabastro de la zona, que existen dos niveles, actualmente en explotación, con características texturales relativamente distintas, se planteó la realización de diversos ensayos de propiedades físicas, junto con el análisis químico, de muestras procedentes de dichos niveles.

Uno de estos niveles, donde explotan las capas de alabastro empresas como HERNA S.L. y NALSA S.A., está a una cota aproximada de 250 m y la muestra, denominada Azaila, de unos 15 Kg de peso, se tomó en la concesión Teresa (NALSA S.A.). El segundo nivel de alabastro muestreado, a una cota aproximada de 185 m, se encuentra en los alrededores del barranco de Lopín, en la concesión Mundina, y la muestra se denominó Lopín.

Las propiedades físicas ensayadas fueron las siguientes:

- Absorción en agua (norma UNE 22-182-85)
- Peso específico aparente y real en agua (norma UNE 22-182-85)
- Peso específico con un estereopícnómetro de helio
- Microdureza Knoop (norma UNE 22-188-85)

En la Tabla 6 se pueden observar los resultados obtenidos, apreciándose como los de la muestra Azaila son ligerísimamente superiores a los de la muestra Lopín, salvo excepciones. Estos datos confirman las observaciones petrográficas acerca del grado de recristalización, con valores más bajos de absorción y una mayor microdureza, del alabastro que se encuentra en los alrededores del barranco de Lopín frente al que se obtiene en las cercanías de Azaila.

<u>Muestra AZAILA</u>	<u>Muestra LOPIN</u>
Pesp. estereopic.He: 2,33 gr/cc	2,33 gr/cc
Pesp. aparente(H ₂ O): 1,928 "	1,93 "
Pesp. real (H ₂ O) : 2,052 "	2,046 "
Absorción (H ₂ O) % : 0,198	0,197
Microdur. Knoop : 38,56 Kg/cm ²	55,59 Kg/cm ²

Tabla 6 .- Resultados de los análisis fisico-mecánicos de muestras de alabastro de la zona.

ANEXO: Como información orientativa, con respecto a los valores obtenidos en el ensayo de la microdureza Knoop, se pueden indicar algunos datos promedio referentes a diversos tipos de rocas ornamentales:

Granitos = 150-300 Kg/cm²

Mármoles = 100-170 Kg/cm²

Calizas = 70-90 Kg/cm²

El análisis químico del alabastro representativo de los dos niveles de explotación más significativos de la zona de estudio se realizó de manera conjunta mediante gravimetría (SO_4^{2-} , Ca y Ppc a 450°C), absorción atómica de emisión (Sr, con llama nitroso-acetileno y $\lambda = 460,7$ nm, en un equipo IL-951) y por plasma (Thermo Jarrell Ash, modelo ICAP 61) para los elementos Na ($\lambda = 589,5$ nm), K ($\lambda = 766,5$ nm) y Ba ($\lambda = 493,4$ nm).

En la Tabla 7 se exponen los resultados obtenidos.

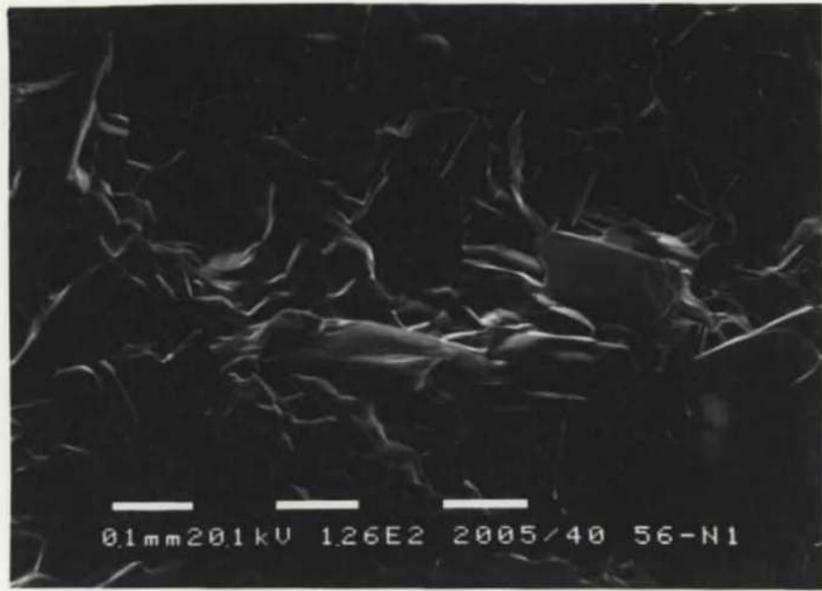
	SO_4^{2-} %	Ca %	Sr %	Ppc %	Na(ppm)	K(ppm)	Ba(ppm)
Azaila	54,2	24,1	0,1	19,7	< 1	< 4	< 5
Lopin	56,2	23,4	0,09	19,85	< 1	< 4	< 5

Tabla 7

Estos resultados analíticos confirman que el alabastro, en total concordancia con los estudios geoquímicos de Mandado (1987), está constituido casi exclusivamente por SO_4^{2-} y Ca^{2+} , siendo el Sr el elemento traza más frecuente y no detectándose elementos como Na, K, etc.

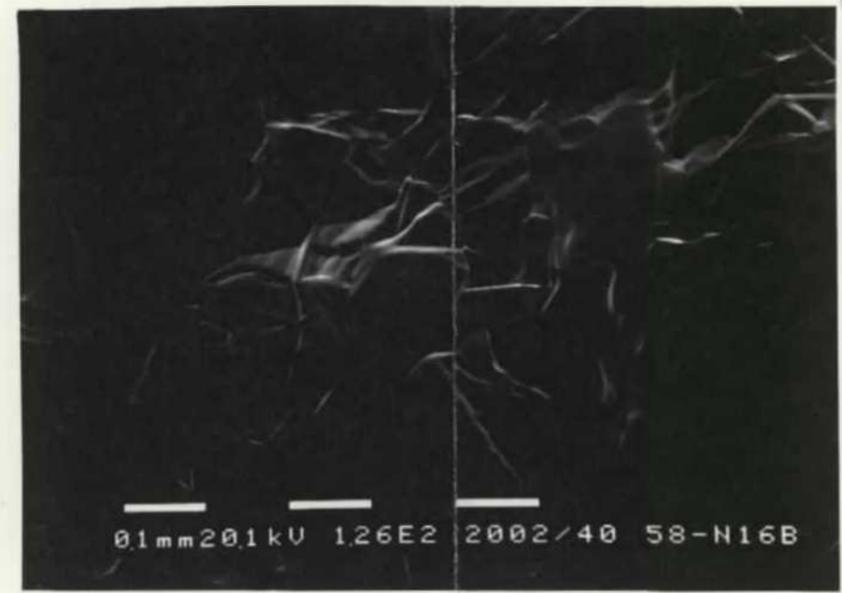
Los datos bibliográficos de análisis de minerales yesíferos suelen ofrecer un abundante rosario de elementos traza que se justifican (Mandado, op.cit.) en la metodología de disgregación de las muestras, donde se lixivian gran cantidad de cationes de las frecuentes impurezas (arcillas, margas, calizas) que acompañan a los yesos.

Finalmente y por microscopía electrónica de barrido (Philips SEM-515) se efectuó la observación de dos muestras de alabastro procedentes de los testigos de los sondeos num.1 y 8, de los dos niveles anteriormente comentados, y se volvieron a confirmar las observaciones hechas con el microscopio petrográfico, o lo que es lo mismo, un mayor desarrollo de los cristales de yeso en la muestra del sondeo nº 8 (Velilla de Ebro), en comparación con la muestra del sondeo nº 1 (cantera de HERNA S.L.). En la Figura 65 se pueden contemplar las fotografías de las muestras bajo el microscopio electrónico.



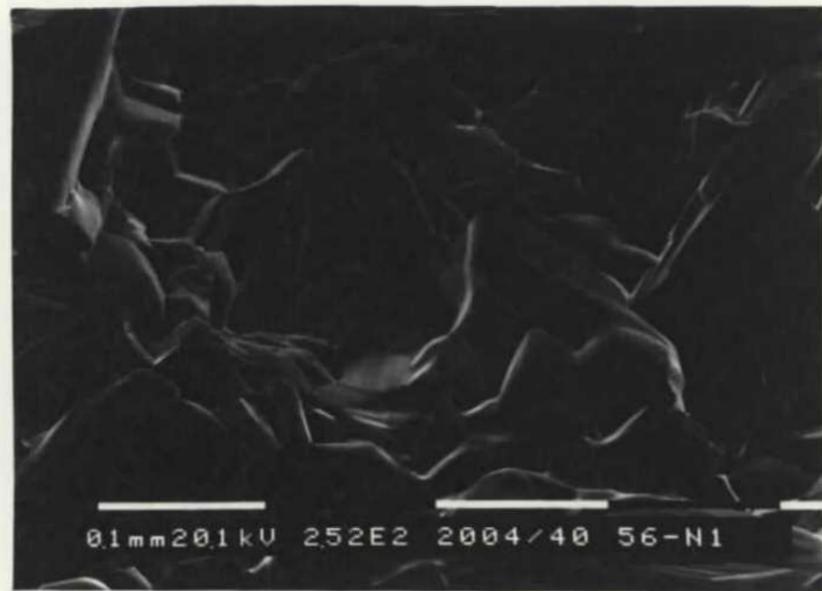
01mm201kV 126E2 2005/40 56-N1

Sondeo nº 3 (X 126 aumentos)



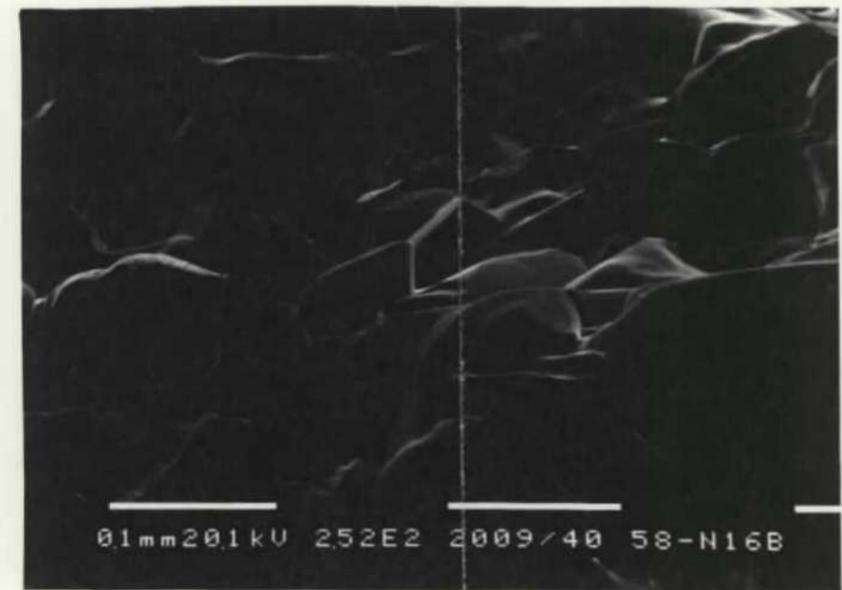
01mm201kV 126E2 2002/40 58-N16B

Sondeo nº 8 (X 126 aumentos)



01mm201kV 252E2 2004/40 56-N1

Sondeo nº 3 (X 252 aumentos)



01mm201kV 252E2 2009/40 58-N16B

Sondeo nº 8 (X 252 aumentos)

XIII.- HIPOTESIS GENETICAS DEL MEDIO SEDIMENTARIO DE LOS YACIMIENTOS

XIII.- HIPOTESIS GENETICAS DEL MEDIO SEDIMENTARIO DE LOS YACIMIENTOS

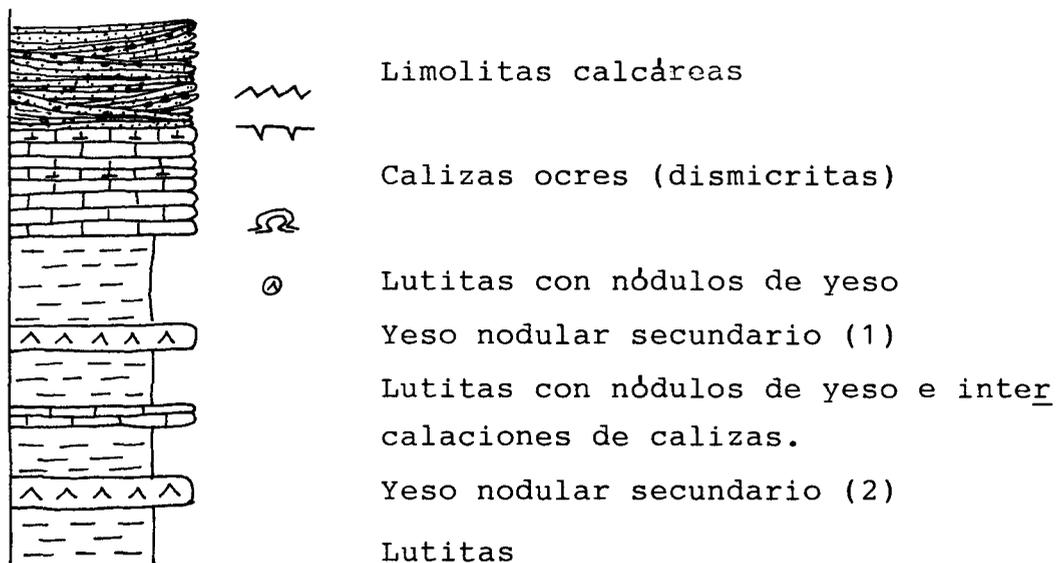
Para intentar explicar un modelo genético válido con los depósitos de alabastro existentes en la zona es preciso conjugar las observaciones de campo, es decir, la relación mutua entre los cuerpos minerales y los sedimentos encajantes, junto con el estudio petrográfico de las texturas y las asociaciones minerales encontradas.

Todos los análisis de campo efectuados nos confirman que los depósitos evaporíticos que se encuentran dentro de la zona investigada se generaron en un medio continental muy somero, de tipo "playa-lago", y más concretamente en subambientes mixtos entre llanuras de barros (mud flat) y llanuras distales fluviales.

Así, atendiendo a la columna estratigráfica general de la zona, hasta una cota aproximada de 220 m, se aprecian potentes acumulaciones de lutitas rojas, con episodios evaporíticos nodulares, e intercalaciones de calizas, que suelen contener cristalitos de yeso, propio de condiciones supramareales dentro de la zona de depósito. A su vez, por toda la parte SE del área investigada abundan los lechos arenosos de morfología canalizada, que evolucionan hacia el NW perdiendo dicha canalización o bien la atenuan.

El tramo 2 de la columna general presenta evidencias de haber estado sometido a una mayor influencia de la acción tractiva de las corrientes lo que se traduce en un mayor aporte de terrígenos al medio, con clastos limolíticos, entremezclados con una matriz micrítica, finamente laminados. También son abundantes las calizas micríticas grises-negruczas, ricas en materia orgánica (pellets y construcciones algáceas), de medios muy someros y bajo constante lámina de agua. Son frecuentes también las nodulizaciones de yeso, originalmente anhidrita, de tipo secundario.

Finalmente, el tercer tramo de la columna general del área es el reflejo de una secuencia somera repetitiva, de carbonatos con evaporitas, lutitas y colmatada por episodios arenosos, de grano muy fino, propia de ambientes mixtos entre intermareales y supramareales dentro de la "sabka" de depósito. La secuencia tipo es la siguiente:



Entre las estructuras sedimentarias que se pueden observar en dicha secuencia están:

- Trenes de ripples, en el nivel limolítico calcáreo.
- Estratificación cruzada, en dicho nivel anterior.
- Grietas de desecación, en las calizas margosas.
- Estromatolitos, en las calizas.
- Slickensides, en las lutitas, representando condiciones de evaporación y encharcamiento dentro de la cuenca.
- Texturas nodulares de yeso (discontinua y "en turrón").

Los minerales evaporíticos que se originaron en este ambiente sedimentario de tipo "playa-lago" fueron anhidrita y yeso, que por los procesos de hidratación posteriores que tuvieron lugar, transformaron la anhidrita en yeso secundario, incluido el alabastro, que es la mineralogía preferencial que se aprecia en todo el área de estudio.

Los procesos de hidratación acaecidos se manifiestan sobre el terreno al observar las deformaciones de los estratos por el crecimiento o aumento de volumen de las estructuras nodulares de yeso, así como también por las numerosas inyecciones de yeso fibroso en el seno de los materiales lutítico-margosos en las que se encajan. Dichas - estructuras nodulares, tan frecuentes y abundantes en el área, nos vienen a indicar que el depósito evaporítico original fue anhidrítico.

Las distintas fases de hidratación a las que han estado sometidos los depósitos evaporíticos del área estudiada han producido conjuntamente y por separado microtexturas como la porfidoblástica y la alabastrina.

Los porfidoblastos son estructuras cristalinas de yeso que crecen en profundidad (Ortí, 1977), mediante una lenta nucleación, por lo que la morfología de los cristales tiende al idiomorfismo. Esta textura microcristalina se observa preferentemente en los niveles de alabastro de los sondeos 7, 8 y 9, que son los que estratigráficamente se encuentran en cotas más bajas.

La textura alabastrina es la más abundante dentro de la zona y se ha producido por una hidratación brusca de la fase anhidrítica primaria, que origina cristales alotriomorfos fuertemente interpenetrados. Este tipo brusco de hidratación suele verificarse en condiciones más próximas a la superficie, siendo, entre otros, la temperatura (profundidad) y la disponibilidad de agua, los factores básicos

que controlan la presencia de los distintos tipos petrográfi-
cos de hidratación.

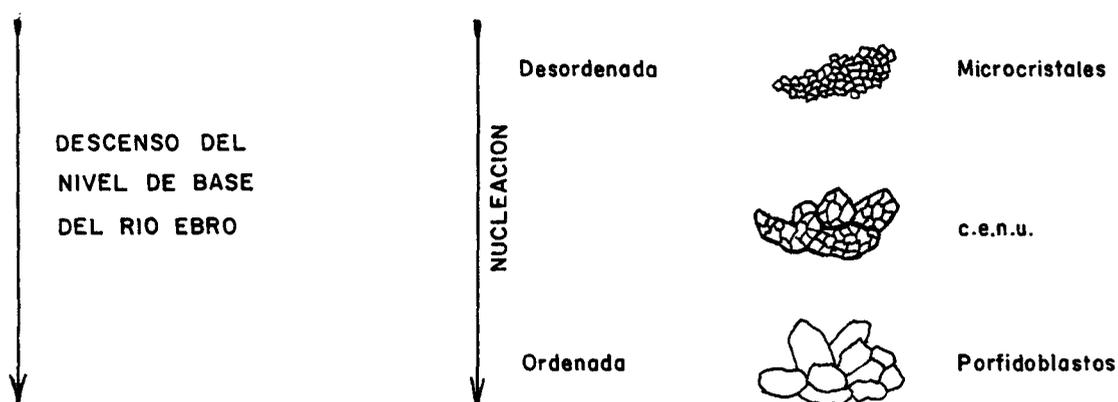
En los sucesivos de hidratación, como señala Orti (1977), existe una tendencia progresiva al desarrollo de microestructuras cristalinas en condiciones de desequilibrio. Según dicho autor, y de manera idealizada, a lo largo de las fases de hidratación sucesivas hasta la yesificación total se pueden encontrar los siguientes crecimientos cristalin^{os}:

- 1) Porfidoblastos, en condiciones de hidratación próximas al equilibrio.
- 2) Cristales de extinción no uniforme (c.e.n.u.), que se podría decir que son simplemente porfidoblastos desarrollados bajo procesos de hidratación con escasas condiciones de equilibrio.
- 3) Agregados microcristalinos, con una nucleación bajo condiciones de fuerte desequilibrio, serían el producto final de hidratación en la exhumación.

Esta secuencia idealizada de progresiva hidratación se ha podido comprobar, de muro a techo, en la columna estratigráfica general de la zona de estudio y así en las muestras de alabastro de los sondeos 7, 8 y 9 se pueden contemplar al microscopio abundantes porfidoblastos y cristales c.e.n.u. y a medida que ascendemos de cota, sondeos 2, 3, 4, 5 y 6, predominan los agregados microcristalinos alotriomorfos. Todo ello nos indica que se han producido unos hipotéticos procesos de hidratación, desde condiciones próximas al equilibrio hasta una desorganización total en el proceso de nucleación de los microcristales de yeso, por la infiltración de aguas subterráneas y una rápida emersión de los niveles anhidríticos originales, fruto, posiblemente, del descenso del nivel de base del río Ebro ;

téngase en cuenta que en el área de estudio, en los alrededores de Velilla de Ebro, se pueden observar terrazas fluviales a unos 80 m por encima del curso actual de dicho río.

En el esquema gráfico inferior se exponen las fases de hidratación progresiva anteriormente descritas.



En cuanto a los modelos de hidratación extrema que se citan en la bibliografía (Ortí, 1977; Mandado, 1987), a saber: por venas y concéntricamente, es este último el que se ha verificado en la zona de estudio.

El modelo de hidratación concéntrica se produce por la acción de un fluido diagenético, aguas connatas y de infiltración, que aprovechando las discontinuidades y zonas de permeabilidad que rodean al mineral anhidrítico precursor (morfología nodular), provoca un frente de hidratación desde el exterior al interior del nódulo.

En el área de estudio, concretamente los meganódulos de alabastro que se explotan en los alrededores del barranco de Lopín, se puede observar su carácter coalescente y la textura fluidal de los sedimentos que los envuelven, cuyas discontinuidades han contribuido a la penetración

XIV.- POSIBILIDADES Y PERSPECTIVAS DEL AREA. ESTIMACION DE LOS RECURSOS

La elaboración de previsiones de futuro con referencia al campo de expansión de los depósitos de alabastro de la zona es un tanto arriesgado sobre todo teniendo en cuenta las posibles fluctuaciones del mercado. Los modos de consumo y las tendencias cambiantes en el diseño de los productos elaborados condicionaran, en buena medida, el crecimiento de este subsector.

Como la mayoría de las rocas y minerales industriales ornamentales, para el alabastro se puede predecir que su consumo se verá favorecido si:

- a) Se fomenta su utilización como elemento en la decoración de interiores (combinadamente con la luz) y siempre en consonancia con el aumento y las mejoras en el "nivel de vida del ciudadano".
- b) Por la plena integración española en la Comunidad Económica Europea se logra una importante introducción de este mineral en otros países europeos, donde es muy escaso, por no decir inexistente.

Los depósitos de alabastro en España, saliéndonos del contexto restringido del área investigada, están poco investigados y conocidos verdaderamente. La gran abundancia de yesos existentes en la Península Ibérica proveen unas grandes perspectivas acerca de su presencia en el subsuelo hispano, siendo sus parámetros genéticos de formación muy aleatorios y que requieren una investigación específica.

Tanto los productores-transformadores del mineral como los canteros han de ser conscientes de que la materia prima fundamental sustentadora de su industria es el alabastro y por ello es necesario investigar o prospectar en

mayor medida sobre el mismo. Las campañas de creatividad y diseño de las piezas elaboradas con el alabastro no tienen sentido si no se es capaz de suministrar a las fábricas una piedra adecuada con unas características mineralógico-texturales conocidas. Hay que conocer, en la medida de lo posible, el material que se extrae de la cantera.

En lo que atañe a la zona de estudio, intensamente canterada, son bien conocidas las cotas de los niveles de alabastro susceptibles de ser explotados, siendo los medios mecánicos de extracción bastante sobrios.

Los ratios de explotación mineral/estéril son elevados y así para extraer un meganódulo de alabastro entre 60 cm y 1,5 m de potencia, es preciso eliminar un recubrimiento de unos 10-15 m de sedimentos. Este gran movimiento de tierras que hay que efectuar para culminar el sentido de la frase "minería" condiciona, que en la zona investigada, el laboreo de las canteras se realice lateralmente, incluso a lo largo de kilómetros, y siempre dentro de la concesión minera propia, para evitar los mínimos costes en la remoción del terreno.

Otro dato a tener en cuenta en la posible extracción de los nódulos de alabastro es su ratio de aprovechamiento, y así de un nódulo de 1 m de espesor se tiende a aprovechar unos 70 cm del mismo, dada la acción de pelado o descascarillado que sufre. Nódulos o capas nodulares de alabastro de potencias inferiores a los 20-25 cm son prácticamente desechables en cuanto a su aprovechamiento.

El área investigada concentra, en casi su práctica totalidad, uno de los más importantes afloramientos de alabastro de toda la Cuenca del Ebro y fuera de sus límites el mineral tiende a desaparecer o a variar alguna de sus propiedades físicas, sobre todo la translucidez.

de las aguas de hidratación. Por otro lado, es habitual observar bajo el microscopio, en la mayoría de los nódulos de los testigos de los sondeos muestreados, cristales porfidoblásticos por todo el entorno exterior y a medida que nos introducimos en el núcleo se transforman en tamaños micrométricos (tex. alabastrina).

Para este tipo de modelo, el mecanismo de hidratación, según Holliday (1970), sería por solución-precipitación, como así lo indican las frecuentes venas de inyección, que representan a los excedentes de volumen de la nueva fase mineral originada (yeso), y los cristales esqueléticos de celestina, de disposición intersticial entre la matriz yesífera, producidos tras la disolución de la anhidrita (Mandado, 1987).

El mecanismo de aporte de sulfato al medio sedimentario en el que precipitan los minerales evaporíticos parece ser que recae en el denominado "bombeo evaporítico", según la abundante bibliografía sobre el tema (en Mandado, 1987).

La Cuenca del Ebro, durante el Mioceno, conformaba una gran depresión endorréica sin salida de sus aguas al mar, por lo que las sales que iban disueltas en los numerosos arroyos y otras aguas subterráneas, que confluían en el río Ebro, precipitaron dentro de la propia Cuenca, siendo el mecanismo de "bombeo evaporítico" una herramienta básica de concentración de los abundantes sulfatos que precipitaron y hoy en día se conservan.

El fundamento básico del mecanismo es el siguiente: Cuando en un clima árido se produce el proceso de evaporación se ve implicada en el mismo el agua capilar existente en el sedimento, lo que origina un aumento en la concentración de sulfato, produciéndose la precipitación del yeso cuando se sobrepasa su producto de solubilidad. El agua eliminada por evaporación se repone al medio por el aporte

XIV.- POSIBILIDADES Y PERSPECTIVAS DEL AREA.ESTIMACION
DE LOS RECURSOS

del agua subterránea, generalmente cargada de sales, con lo que se produce un mecanismo de bombeo cuyo motor es la evaporación ocasionada por la acción solar. Como señala Mandado (1987), y para condiciones ideales, la altura que puede alcanzar una columna de agua por capilaridad, inducida por la evaporación, puede superar los 3,6 m, en sedimentos lutíticos, con radios de poro $< 4 \mu\text{m}$.

Este mecanismo de bombeo provoca que los nódulos sulfatados crezcan por precipitación de sulfato cálcico a partir de las aguas intersticiales, formando masas de cristales que desplazan a los sedimentos circundantes. Cody y Hull (1980) señalan que en el entorno de los medios continentales tipo sabka se produce no sólo la anhidritación diagenética temprana de los depósitos de yeso, sino la precipitación directa de la anhidrita debido a las altas temperaturas del medio, la baja actividad química del agua y la abundancia de materia orgánica, procedente de los restos de tapices algales y flora, que podrían favorecer la nucleación de la anhidrita. En el área estudiada son frecuentes los restos orgánicos (algas, pellets) y los signos de bioturbación por raíces, en las proximidades de los niveles de alabastro.

Finalmente, para intentar dar una explicación a la procedencia del azufre que ha originado este amplio volumen de depósitos evaporíticos dentro de la zona de estudio, hay que recurrir a los comentarios de diversos autores (ver Mandado 1987), según los cuales las importantes masas de yesos generadas dentro de la Cuenca Terciaria del Ebro se deben a los frecuentes flujos acuosos subterráneos, procedentes de la Cadena Ibérica, que han afectado a los potentes sedimentos triásicos de composición sulfatada y que mediante procesos de disolución-precipitación, cristalizaron de nuevo y ahora en la Depresión del Ebro. La meteorización y oxidación a sulfato de las mineralizaciones de sulfuros existentes en las rocas ígneas y paleozoicas del

entorno de la Cuenca del Ebro también han podido contribuir a aportar ese azufre tan necesario para la precipitación de los depósitos evaporíticos encontrados.

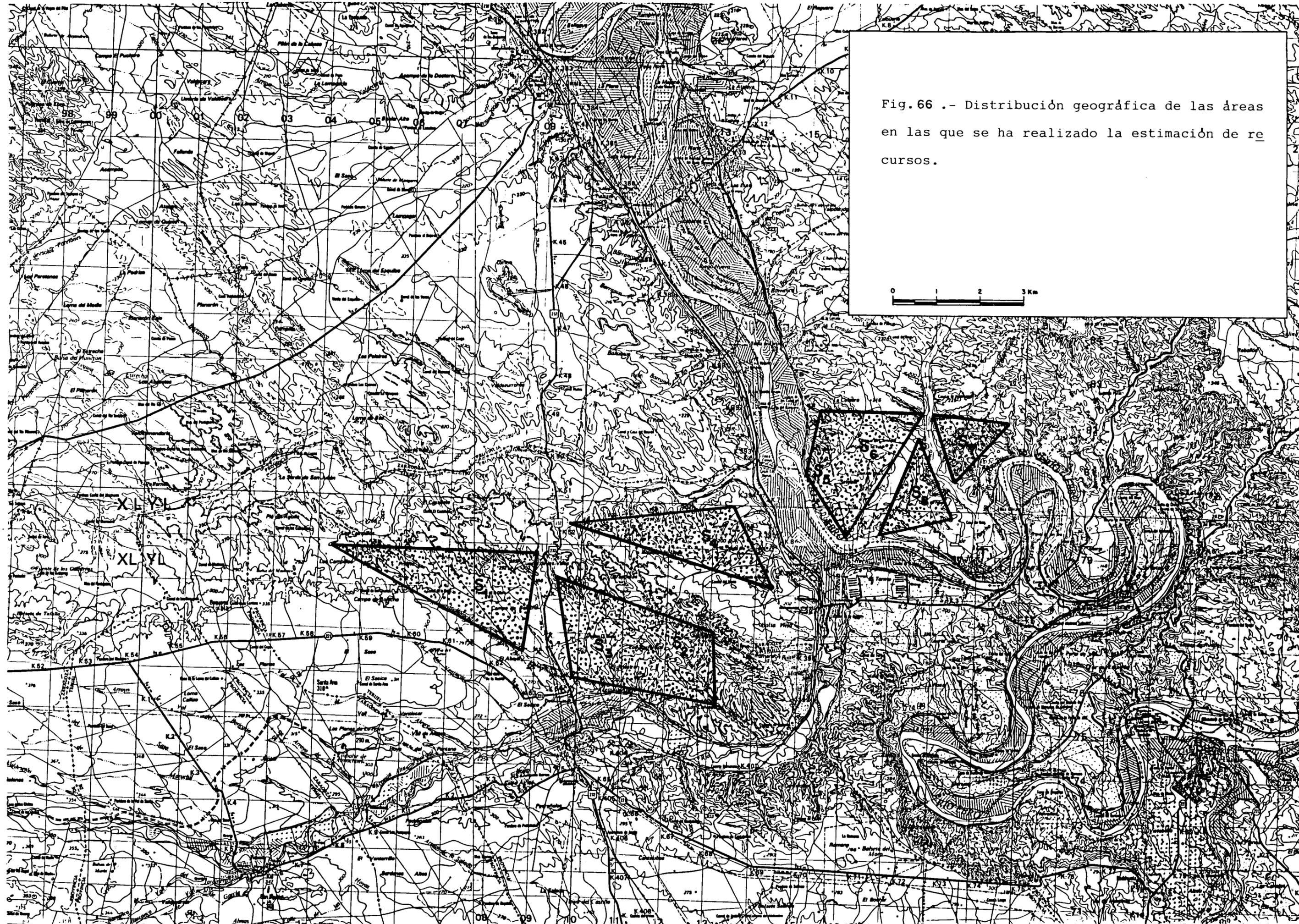


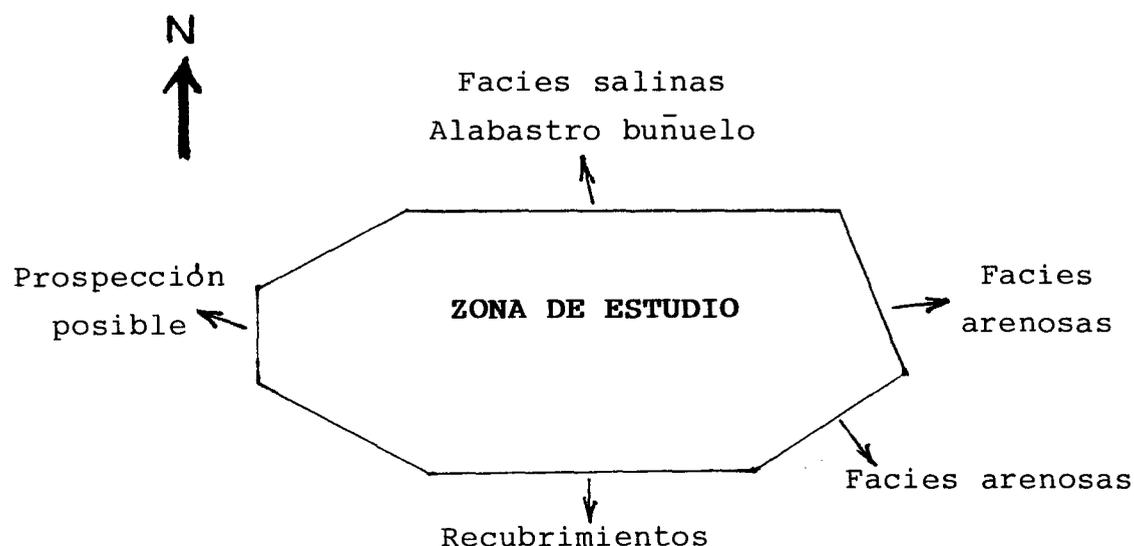
Fig.66 .- Distribución geográfica de las áreas en las que se ha realizado la estimación de recursos.



Los límites geográficos de la zona estudiada son bien significativos, en cuanto a las posibilidades de acumulación-explotabilidad de los niveles de alabastro. Así, hacia el este y el sur, tanto las condiciones sedimentológicas (facies arenosas) como los propios límites del borde de la Cuenca del Ebro, no son buenas zonas para el seguimiento de los niveles de alabastro.

En dirección a Zaragoza, nos adentramos hacia el centro de la Cuenca, en concreto hacia el núcleo de las formaciones salinas centrales, y así, al ~~norte~~ de Quinto de Ebro, entre los meganódulos de alabastro, que se extraen en diversas canteras, es frecuente observar cristales seleníticos de yeso, siendo el alabastro que se comercializa en estas zonas y proximidades (Mediana y Fuentes) el de tipo "buñuelo".

A nivel prospectivo sería interesante estudiar la prolongación, hacia el W-NW, de los niveles de alabastro que se extraen, a una cota aproximada de 185 m, en los alrededores del barranco de Lopín, y también, en el mismo sentido direccional, los niveles de alabastro, próximos a una cota de 245 m, asociados a la secuencia guía de la mineralización que se propone en este Proyecto.

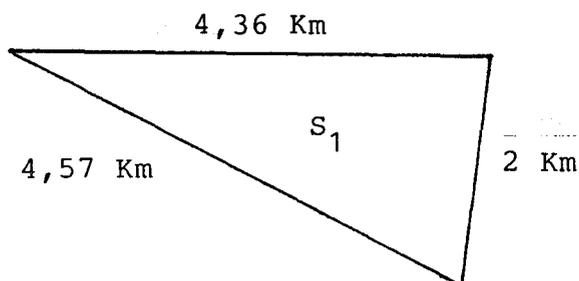


Dada la reducida área de posible explotabilidad de los niveles de alabastro estudiados es necesario conjuntar los esfuerzos e iniciativas de los productores, canteros y los organismos de la administración competentes para la realización de un necesario "Plan Estratégico de Explotación-Viabilidad del Alabastro tipo Azaila-Lopin". Sus fines se encaminarían a la evaluación precisa de los recursos existentes y la mejora de los sistemas de explotación de las canteras, con lo que se buscaría un equilibrio justo con la Naturaleza, reduciendo o eliminando el impacto ambiental producido por las extracciones a cielo abierto.

Como etapa final de toda prospección de yacimientos minerales se hará una estimación orientativa de los recursos de posible explotabilidad en el área de estudio. Esta previsión es muy hipotética, pero como se ha dicho con anterioridad orientativa, y está basada en los datos obtenidos de los sondeos efectuados y en las observaciones de campo. Por tanto, como recursos posibles, y en este Proyecto, se ha entendido la continuidad de las capas sistemáticamente explotadas, deducida por los conocimientos geológicos adquiridos. Aunque se indicarán tonelajes, es preciso considerarlos de una manera flexible y, para una mayor precisión en el cubicaje, se recomiendan, a corto-medio plazo, inversiones para trabajos geológicos de prospección (mallas de sondeos).

En la Figura 66 se pueden observar las áreas en las que se estimaron los recursos.

Dentro de cada área seleccionada se tienen en cuenta las potencias de los niveles de alabastro y se estima una media aritmética de las mismas, para configurar un volumen hipotéticamente uniforme. También se ha considerado el tanto por ciento de aprovechamiento de los nódulos extraídos y que se considera en un 70% .

Cálculos:

$$P. esp. = 2,33 \text{ g/cm}^3$$

$$S_1 = 4,33 \text{ Km}^2$$

Promedio potencias de nódulos (S-2, S-3, S-4, S-5) = 35 cm

Potencia nódulos (aprovechamiento del 70%) = 25 cm

$$V = 4330000 \text{ m}^2 \cdot 0,35 \text{ m} = 1.515.500 \text{ m}^3$$

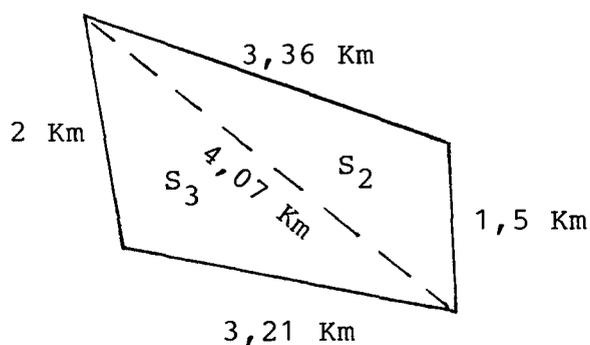
$$M = 2,33 \text{ g/10}^{-6} \text{ m}^3 \cdot 1.515.500 \text{ m}^3 = 3.531.115 \cdot 10^6 \text{ g}$$

3.531.115 ton. posibles

$$V = 4330000 \text{ m}^2 \cdot 0,25 \text{ m} = 1.082.500 \text{ m}^3$$

$$M = 2,33 \text{ g/10}^{-6} \text{ m}^3 \cdot 1.082.500 \text{ m}^3 = 2.522.225 \cdot 10^6 \text{ g}$$

2.522.225 ton. aprovechables



$$S_2 = 2,40 \text{ Km}^2$$

$$S_3 = 3,16 \text{ Km}^2$$

$$\hline 5,56 \text{ Km}^2$$

Promedio potencias de nódulos (cant. Nalsa y T. moj.) = 60 cm

Potencia nódulos (aprovechamiento del 70%) = 42 cm

$$V = 5.560.000 \text{ m}^2 \cdot 0,60 \text{ m} = 3.336.000 \text{ m}^3$$

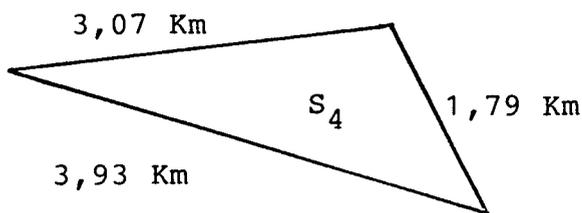
$$M = 2,33 \text{ g}/10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 3.336.000 \text{ m}^3 = 7.772.880 \cdot 10^6 \text{ g}$$

7.772.880 ton.posibles

$$V = 5.560.000 \text{ m}^2 \cdot 0,42 \text{ m} = 2.335.200 \text{ m}^3$$

$$M = 2,33 \text{ g}/10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 2.335.200 \text{ m}^3 = 5.441.016 \cdot 10^6 \text{ g}$$

5.441.016 ton. aprovechables



$$S_4 = 2,66 \text{ Km}^2$$

Promedio potencias de nódulos (bar.Lopin) = 1 m

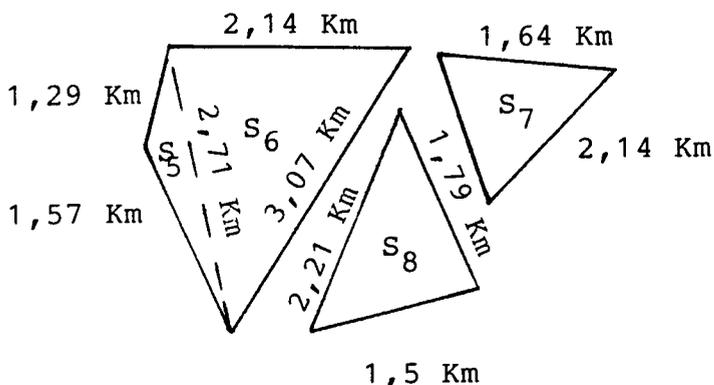
Potencia nódulos (aprovechamiento del 70%) = 70 cm

$$V = 2.660.000 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 2.660.000 \text{ m}^3$$

$$M = 2,33 \text{ g}/10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 2.660.000 \text{ m}^3 = 6.197.800 \cdot 10^6 \text{ g}$$

6.197.800 ton. posibles

4.338.460 ton. aprovechables



$$S_5 = 0,62 \text{ Km}^2$$

$$S_6 = 2,83 \text{ Km}^2$$

$$S_7 = 1,17 \text{ Km}^2$$

$$S_8 = 1,33 \text{ Km}^2$$

$$5,95 \text{ Km}^2$$

$$V = 5.950.000 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 5.950.000 \text{ m}^3$$

$$M = 2,33 \text{ g}/10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 5.950.000 \text{ m}^3 = 13.863.500 \cdot 10^6 \text{ g}$$

13.863.500 ton. posibles

9.704.450 ton. aprovechables

De los cálculos anteriores se desprende, como resumen final, que la estimación de los recursos potenciales de alabastro para la zona investigada es la siguiente:

Cota: 245 m, ALABASTRO AZAILA: 11.303.995 ton. posibles
 7.963.241 ton. aprovechables

Cota: 185 m, ALABASTRO LOPIN : 20.061.300 ton. posibles
 14.042.910 ton. aprovechables

TOTAL ALABASTRO : 31.362.295 ton. posibles
22.006.151 ton. aprovechables

Se vuelve a recordar que estos datos son orientativos de los recursos potenciales y que para hacerlos efectivos sería preciso, en algunos casos, desmontar entre 15 a 30 m, que son, en general, las profundidades a que se encuentran los principales niveles de alabastro de la zona.

XV.- CONCLUSIONES

XV.- CONCLUSIONES

Las deducciones que se desprenden de las investigaciones llevadas a cabo en este Proyecto son las siguientes:

* La palabra "alabastro" designa a dos minerales totalmente diferentes: la calcita y el yeso. Los mismos dan nombre, respectivamente, a dos minerales industriales ornamentales: el alabastro calcáreo y el alabastro yesoso.

* Los yacimientos de alabastro investigados dentro de la zona de estudio son mineralógicamente de yeso y todos los que se extraen o extrajeron en la Cuenca del Ebro y su entorno son también de la misma mineralogía, que es a la que de ahora en adelante se hará mención.

* El alabastro ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es un mineral industrial ornamental con unos amplios antecedentes históricos en cuanto a su uso y así desde las culturas neolíticas (5.000 años a. de C.), pasando por los egipcios, sumerios, asirios, etruscos, griegos, romanos, etc., nos han llegado vestigios artísticos acerca de su empleo.

* El área de estudio, que comprende aproximadamente unas 26.000 Ha, se halla a unos 60 Km al SE de Zaragoza, siendo las localidades más significativas de la misma, o próximas a ella, las de Quinto de Ebro, Velilla de Ebro, La Zaida, Sástago, Escatrón y Azaila.

* La zona investigada se sitúa geológicamente en el Sector Central o Aragonés, dentro del borde SE de la Cuenca Terciaria del Ebro, y más concretamente en la parte noroccidental del Sector de Calanda-Valderrobres-Escatrón.

* Estratigráficamente, los materiales aflorantes dentro del área de estudio pertenecen a la Unidad Tectosedimentaria T_4 (UTS T_4) (parte alta del Oligoceno Superior).

* Se realizaron nueve sondeos mecánicos con recuperación de testigo continuo que perforaron, en conjunto, un total de 346 m de sedimentos.

* Las columnas estratigráficas de los nueve sondeos, complementadas con las que se realizaron a pie de afloramiento (20), han permitido la correlación sedimentológica de los cuerpos minerales de alabastro.

* Existen dos grupos de sondeos interrelacionados entre sí y situados a distinta cota. Por una parte están los numerados como 2, 3, 4 y 5, situados alrededor de los 260 m de altura, y por otra los sondeos n^{ROS} 7, 8 y 9 se encuentran a una cota que ronda los 200-210 m de altura.

* Las cotas más significativas de los niveles de alabastro que se observan en la zona son las siguientes:

280-290 m (explot. inactivas)

245-250 m (explot. activas)

230 m (explot. inactivas)

185 m (explot. activas)

* A nivel prospectivo, y para los niveles de alabastro situados a una cota de 245-250 m, se describe una secuencia guía de la mineralización.

* El estudio microscópico de las texturas del alabastro de la zona nos ha permitido distinguir dos grupos diferenciados, uno que engloba a los sondeos n^{ROS} 2, 3, 4, 5 y 6 (Grupo 1) y otro el de los sondeos n^{ROS} 7, 8 y 9 (Grupo 2).

* En el Grupo 1 son frecuentes las microtexturas alabastrinas de agregados microcristalinos (\approx 20-50 μ m) y algunos cristales subidiomorfos (\approx 80 μ m) y porfidoblastos aislados.

* En el Grupo 2 predominan las microtexturas porfidico-alabastrinas, las alabastrinas de extinción no uniforme (c.e.n.u.) y las alabastrinas granoblásticas.

* Los principales tipos petrográficos de las rocas sedimentarias del área de estudio son:

- Arenitas yesíferas
- Calcarenitas con cuarzo
- Limolitas calcáreas con yeso y pellets
- Biodismicritas
- Dismicritas

* La mineralogía de los materiales lutítico-margosos en los que se encajan los niveles de alabastro es la siguiente:

Minerales no arcillosos:

cuarzo
calcita
dolomita
aragonito
feldespatos
yeso

Minerales arcillosos:

illita
esmectita
caolinita
clorita
talco

* Se realizaron los ensayos de propiedades físicas siguientes:

- Absorción en agua (UNE 22-182-85)
- Peso espec. aparente y real en agua (UNE 22-182-85)
- Peso espec. con estereopícnómetro de helio
- Microdureza Knoop (UNE 22-188-85)

a dos muestras de alabastro nombradas Azaila y Lopín.

* Los resultados obtenidos confirman que el alabastro que

se extrae en los alrededores del barranco de Lopín presenta una ligerísima mayor oposición al corte de la sierra, dado su mayor tamaño de grano y grado de recristalización, que el que se extrae en los alrededores de Azaila.

* Los análisis químicos de las dos muestras anteriormente citadas (Azaila y Lopín) confirman que el alabastro está constituido, en su práctica totalidad, por SO_4^{2-} y calcio.

* Los depósitos evaporíticos del área de estudio se generaron en un medio continental endorreico muy somero, de tipo playa-lago, en subambientes mixtos entre llanuras de barros y llanuras distales fluviales.

* El modelo de hidratación que se observa en el área, y para los nódulos de alabastro, es el de tipo "concéntrica", que produce un estadio inicial de porfidoblástesis externa al nódulo y una alabastrización final en el núcleo.

* Se aprecia, en la zona investigada y en los niveles de alabastro, una secuencia idealizada de progresiva hidratación, de muro a techo, con los siguientes crecimientos cristalinos:

- Agregados microcristalinos
- c.e.n.u.
- Porfidoblastos

* La estimación de los recursos posibles de alabastro en la zona de estudio es la siguiente :

- 31.362.295 ton. posibles
- 22.006.151 ton. aprovechables

XVI.- BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

CECCHOLA, A.(1977).- L'industria dell' alabastro.Problemi e prospettive.Pisa, 110 p.

CODY, R.D. & HULL, A.B.(1980).- Experimental growth of primary anhydrite at low temperature and water salinities. Geology, 8-10, 505-509.

FIRMAN, R.J.(1984).- A geological approach to the history of english alabaster.The Mercian Geologist, 9, 161-178.

GONZALEZ, A.(1989).- Análisis tectosedimentario del Terciario del borde SE de la Depresión del Ebro (sector bajoaragonés) y cubetas ibéricas marginales.Tesis doctoral inédita. Universidad de Zaragoza.

GONZALEZ, A.; PARDO, G. Y VILLENNA, J.(1988).- El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas.II Congreso de Geología de España, Granada, Tomo Simposios, 175-184.

GONZALEZ, A.; PARDO, G.; VILLENNA, J. Y PEREZ, A.(1984).- Estratigrafía y sedimentología del Terciario de la cubeta de Alloza (prov. Teruel).Bol.Geol.Min., 95, 407-428.

GONZALEZ LOPEZ, J.M.; FERNANDEZ-NIETO, C.; PEREZ, A.; VILLENNA, J. Y LOPEZ-AGUAYO, F.(1990).- Utilidad de la mineralogía en el análisis de cuencas: Aplicación al sector centro-meridional de la Depresión del Ebro.Bol.Soc.Esp.Mineral., 13, 110-111.

GONZALEZ MARTINEZ, J.; FERNANDEZ-NIETO, C.; GONZALEZ LOPEZ, J.M.; GONZALEZ, A. Y LOPEZ-AGUAYO, F.(1986).- Mineralogía del perfil de Sástago (Terciario del Sector Central de la Depresión del Ebro, Prov. de Zaragoza).Bol.Soc.Esp.Mineral., 9, 53-61.

- HOLLIDAY, D.W.(1970).- The petrology of secondary gypsum rocks: a review.J. Sed. Petrol., 40, 734-744.
- ITGE.(1985).- Investigación nacional de yesos: Depresión del Ebro y Cuenca del Duero.Fondo Documental del ITGE.Informe Inédito.
- ITGE.(1988).- Aprovechamiento industrial de alabastros en las áreas de Ablitas (Navarra), Quinto de Ebro y Velilla de Ebro (Zaragoza).Fondo Documental del ITGE.Informe Inédito.
- ITGE.(1988).- Panorama Minero.Ministerio de Industria y Energía.Servicio de Publicaciones del ITGE, 428 p.
- LLANO ROZA, A.(1928).- Bellezas de Asturias.Edit. Exc.Dip. Prov. de Oviedo, 542 p.
- MANDADO, J.(1987).- Litofacies yesíferas del Sector Aragonés de la Cuenca Terciaria del Ebro.Petrogénesis y Geoquímica.Tesis doctoral inédita, Universidad de Zaragoza, 443 p.
- MANDADO, J. Y TENA, J.M.(1988).- Interpretación geoquímica del análisis químico de rocas yesíferas de la Cuenca del Ebro mediante análisis estadístico.Geociencias, Aveiro, 3, 189-197.
- MEGIAS, A.G.(1982).- Introducción al análisis tectosedimentario: Aplicación al estudio dinámico de cuencas.Act. V Congr. Latinoamericano de Geol., I, 385-402.
- MOSSOP, G.D. & SHEARMAN, D.J.(1973).- Origins of secondary gypsum rocks.Trans.Inst.Ming. and Metall., 82, B147-154.
- MOTINOT, R.(1980).- Les Albatres.Mausolee, 47, 309-315.
- MRÁZEK, I.(1985).- Libyjský alabastr.Gelogický Průzkum, 8-9, 266-267.
- MURRAY, R.C.(1964).- Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite.J. Sed. Petrol., 34, 512-523.

MYERS, B.M.(1981).- Forms and attributes of gypsum.Lapidary Jour., 35, 572-577.

OGNIBEN, L.(1957).- Secondary gypsum of the Sulphur Series Sicily, and the so-called integration.J. Sed. Petrol., 27, 64-79.

ORTI, F.(1977).- Aproximación al estudio petrográfico de las microestructuras de las rocas de yeso secundario y a su origen.Inst. Inves. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 32, 87-152.

PARDO, G.; VILLENA, J. Y GONZALEZ, A.(1989).- Contribución a los conceptos y a la aplicación del análisis tectosedimentario.Rupturas y unidades tectosedimentarias como fundamento de correlaciones estratigráficas.Rev.Soc.Geol.España, 2, (3-4), 199-221.

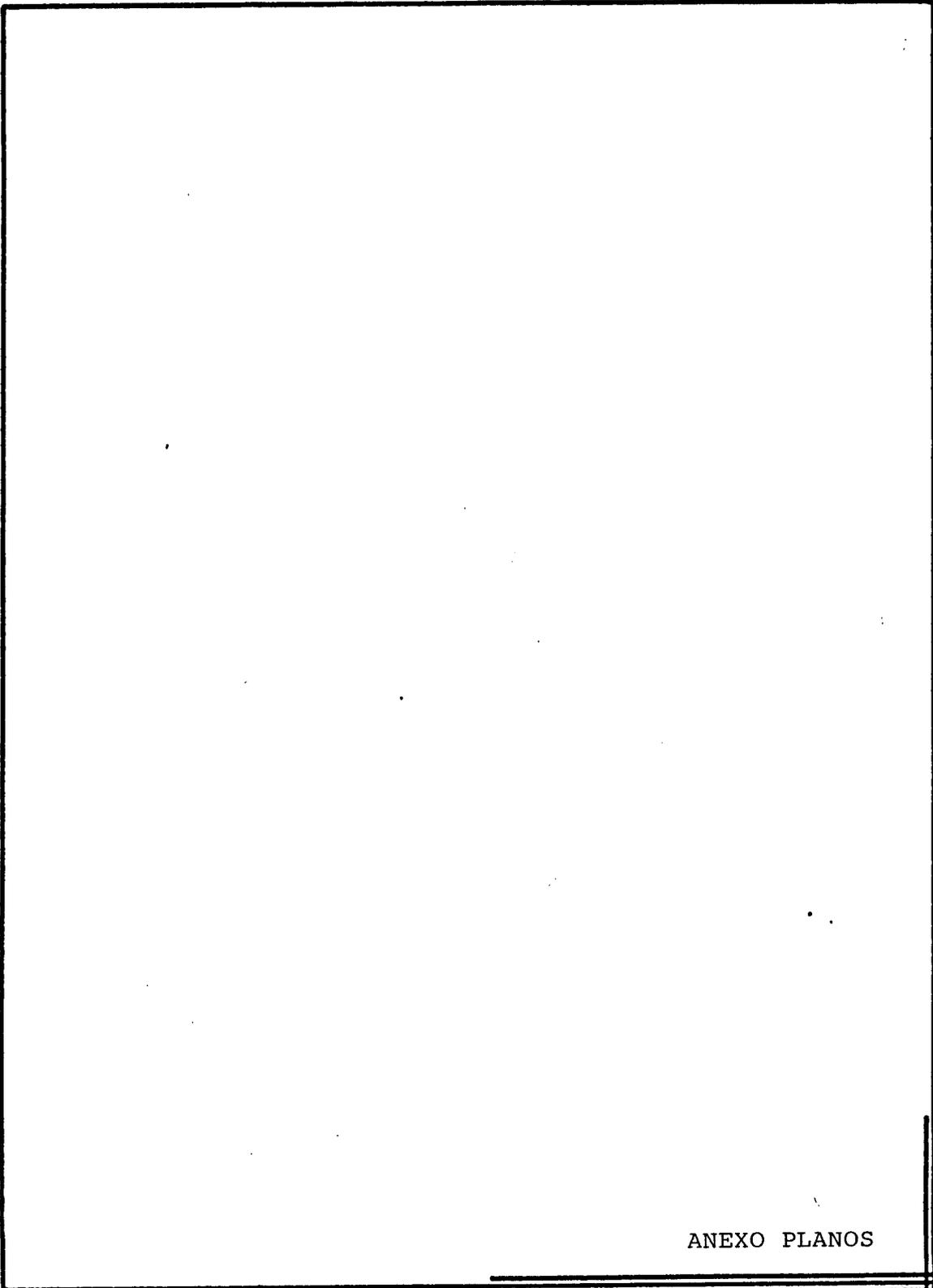
PICCIO, A.; ZEZZA, U.(1968).- Su alcune caratteristiche fisiche di alabastriti italiani.Atti.Soc.Ital.Sci.Nat.Mus. Civ.Sto.Nat.Milano, 107, 263-275.

PIJOAN, J.(1970).- Historia del Arte.Salvat Editores, S.A., Tomos 1 y 2.

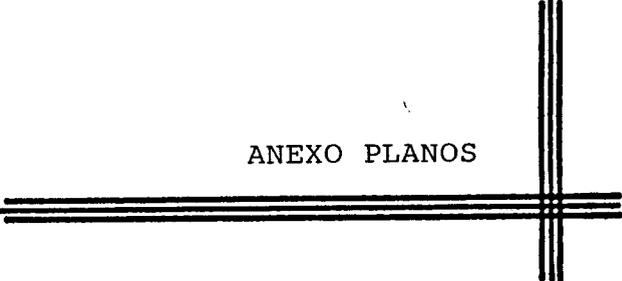
QUIRANTES, J.(1978).- Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros.Inst."Fernando El Católico", CSIC, Zaragoza, 207 p.

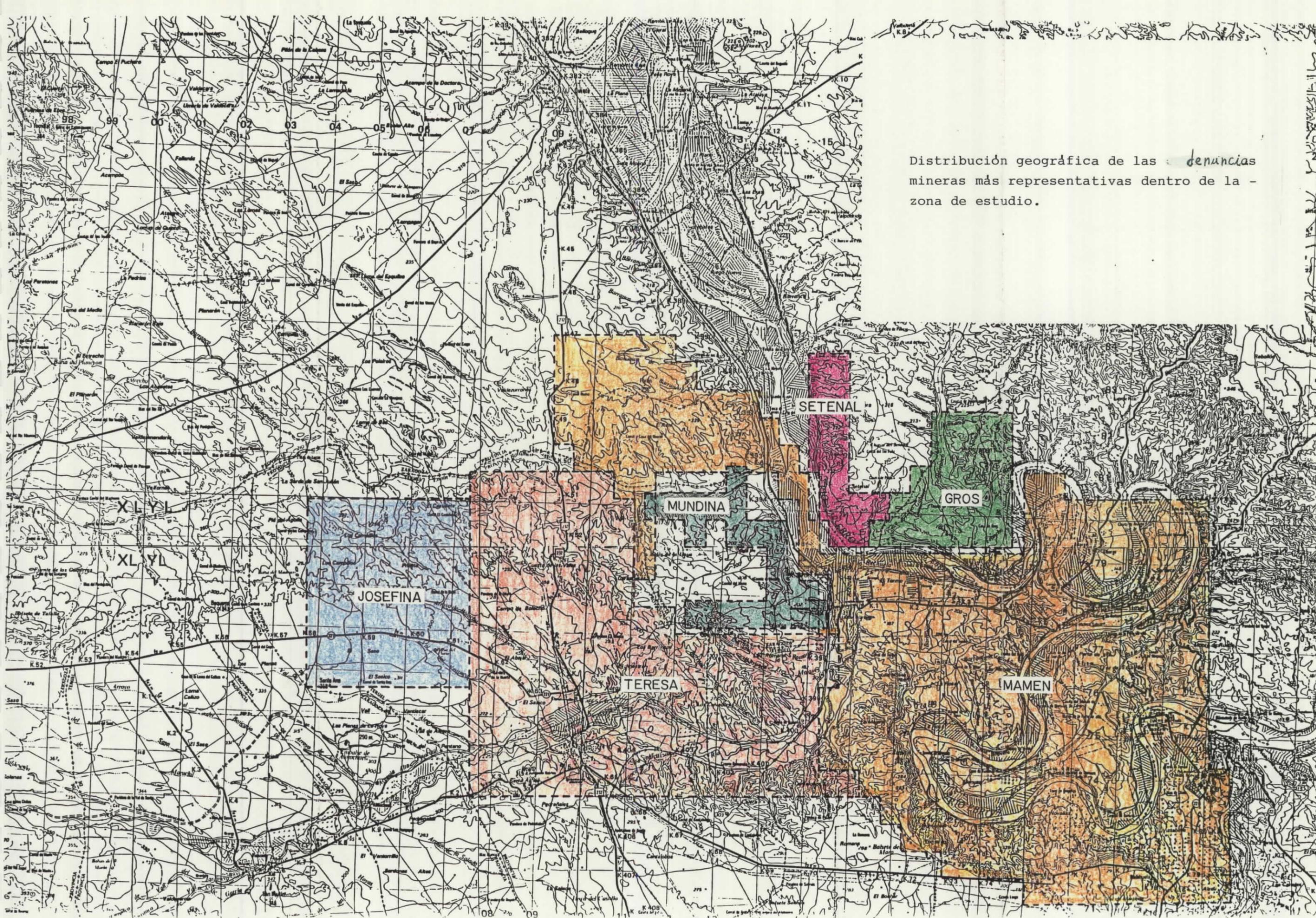
WEAVER, C.E.(1989).- Clays, Muds, and Shales.Developments in Sedimentology n°44, Elsevier, 819 p.

YOUNG, J.(1990).- Alabaster.Edit. Derbyshire Museum Service, 69 p.

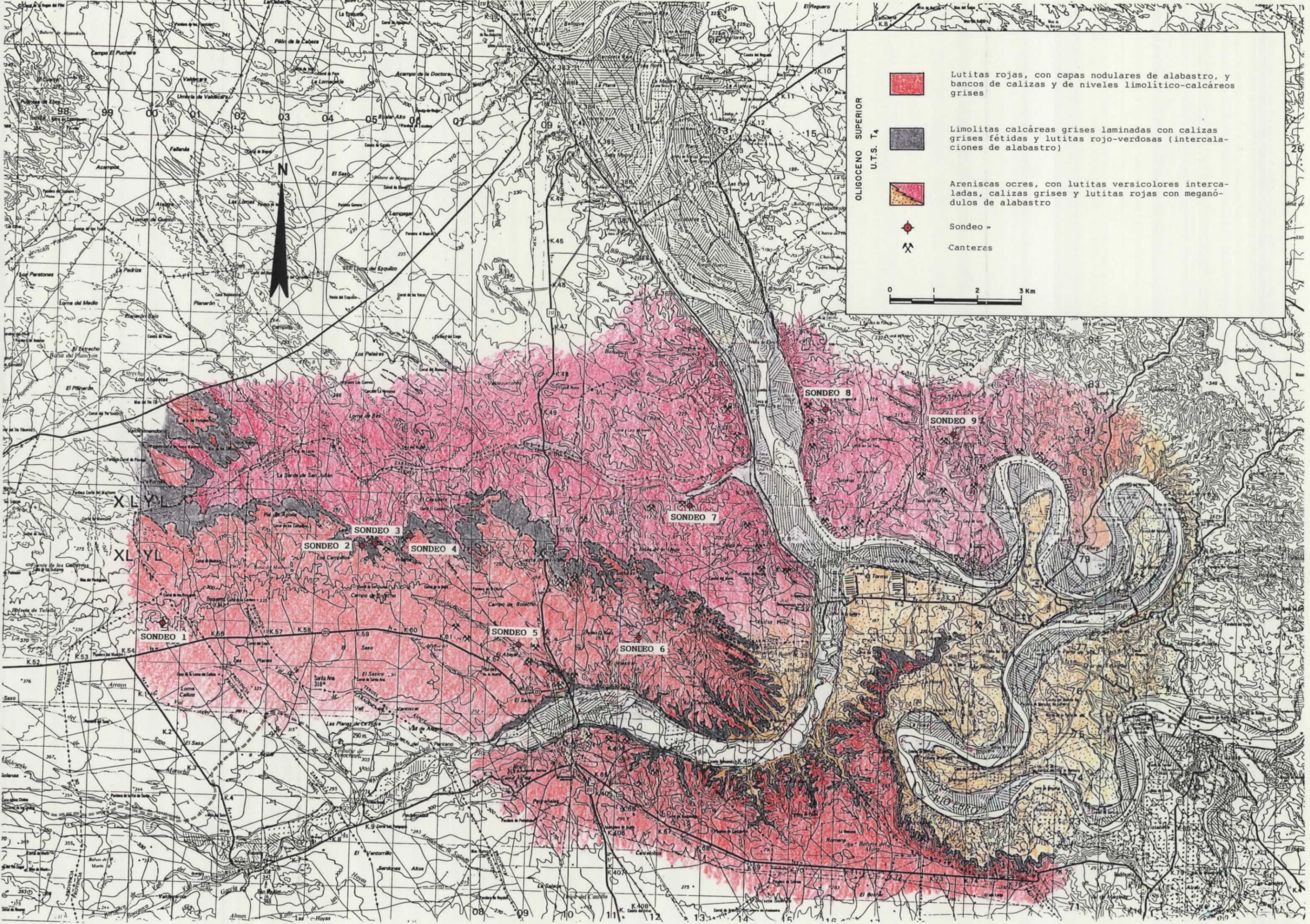


ANEXO PLANOS





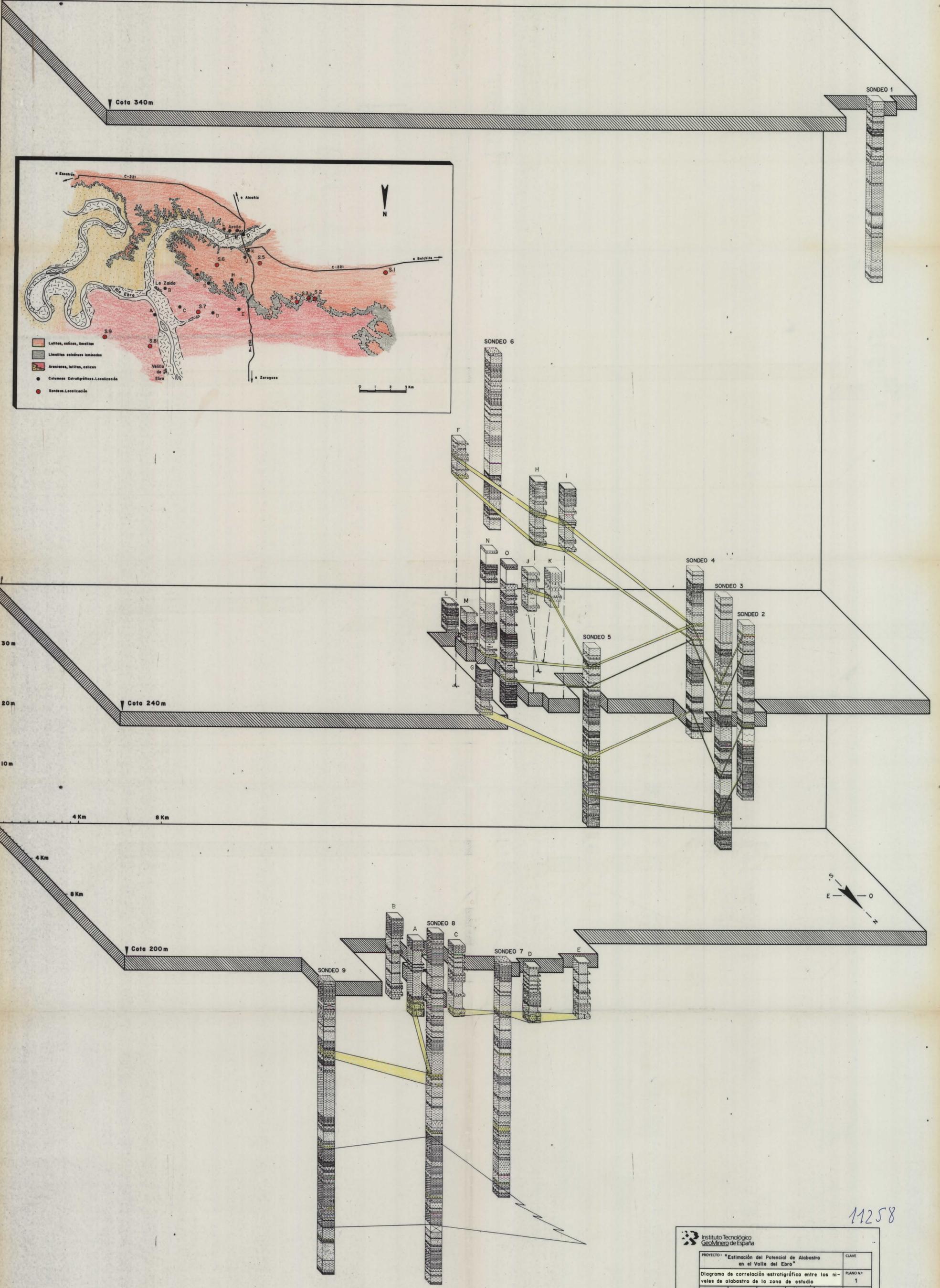
Distribución geográfica de las denuncias mineras más representativas dentro de la zona de estudio.



OLIGOCENO SUPERIOR
U.T.S. T4

-  Lutitas rojas, con capas nodulares de alabastro, y bancos de calizas y de niveles limolítico-calcareos grises
-  Limolitas calcáreas grises laminadas con calizas grises fétidas y lutitas rojo-verdosas (intercalaciones de alabastro)
-  Areniscas ocre, con lutitas versicolores intercaladas, calizas grises y lutitas rojas con megánulos de alabastro
-  Sondeo
-  Canteras

0 1 2 3 Km



11258

PROYECTO: "Estimación del Potencial de Alabastro en el Valle del Ebro"				CLAVE
Diagrama de correlación estratigráfica entre los niveles de alabastro de la zona de estudio				PLANO N.º 1
DIBUJADO	FECHA	COMPROBADO	AUTOR	ESCALA
L. A. Díaz	DIC. 90	—	L. A. Díaz	—
				CONSULTOR