

# Fábricas cristalinas de la anhidrita nodular y laminada

por Federico ORTÍ CABO y Laura ROSELL ORTIZ

Departamento de Petrología, Facultad de Geología, Gran Vía, 585. Barcelona-7 (España).

## SUMMARY

The study of a significant number of thin sections of anhydritic rocks belonging to formations of different lithofacies, ages and sedimentary environments (anhydrites of a diagenetic replacement origin on carbonate rocks are excluded from this study) leads us to accept the existence of two main crystalline habits that characterise the fabrics of this mineral: a) equidimensional (granular), and b) prismatic-elongated (prismatic). Both habits roughly correspond respectively to the terms «pile of bricks» and «lath texture». Fabrics composed by only one crystalline habit more or less uniformly sized can be considered as homogeneous.

Most current homogeneous prismatic fabrics are decussate (felted), fascicular (and microfascicular), fibrous-radiate and spherulitic. Other fabrics (as porphyroblastic) are considered as mixed or heterogenous because several habits and sizes of anhydrite crystals coexist in them. Fabrics having, in general, their crystals in subparallel arrangements can be qualified as aligned.

The genesis of the anhydrite lithofacies (nodular and laminated) here considered mainly occurs in two very different situations: 1) in evaporitic vadose-capillary zone (sabhka environment), and 2) in burial along subsidence (deep diagenetic environment). In both cases various genetic factors may play in such a way that although responding to different causes they may lead to similar effects, as: crystalline breakage, reorientation and interpenetration, as well as fluidal-like behavior of the fabric if overpressure is produced in the liquor phase. As a result, difficulties may arise in knowing the environment in which the anhydrite was generated through the study of the crystalline fabrics alone.

Both equidimensional and prismatic crystalline habits here distinguished are original features, although in some cases one of them might generate by partly recrystallization from the other.

Prismatic fabrics display continuous series in their various morphological types as a result of the growth mechanisms, and also they may grade into granular fabrics under severe breakage effects. Mixed fabrics are not necessarily recrystallization products, but they more frequently reflect successive anhydrite growth stages spaced in time.

Granular fabrics of all the laminate lithofacies studied by us are of secondary origin (replacement of primary gypsum). This conclusion could perhaps apply to many laminate (basinal) anhydrites described in the literature as primary in a depositional sense, even so when they exhibit prismatic decussate fabrics.

The two main crystalline habits here described for the laminate and nodular anhydrite lithofacies are, in our experience, essentially the same displayed by such mineral when associated to other minerals of great solubility, as glauberite, polyhalite or halite.

## RESUMEN

Del estudio de un número significativo de preparaciones microscópicas de rocas de anhidrita pertenecientes a formaciones de litofacies, edades y ambientes sedimentarios diferentes (quedan excluidas del presente estudio las anhidritas de reemplazamiento diagenético de formaciones carbonatadas) se destaca la existencia de dos hábitos cristalinos principales que definen las fábricas de este mineral: a) equidimensional (granular), y b) prismático-elongado (prismático). Ambos corresponden respectivamente, en primera aproximación, a los términos anglosajones de *pile of bricks* y *lath texture*. El predominio en las fábricas de un solo hábito cristalino de tamaño de grano relativamente uniforme permite calificarlas de homogéneas.

Las fábricas prismáticas homogéneas más corrientes son las desorientada, fascicular (y microfascicular), fibroso-radiada y esferulítica. Otras fábricas

(como las porfiroblásticas) son consideradas mixtas o heterogéneas al coexistir en ellas cristales de anhidrita de hábitos y tamaños diversos. Las fábricas, en general, admiten el calificativo de alineadas cuando presentan sus cristales en disposición subparalela.

La génesis de las litofacies de anhidrita (nodulares y laminadas) aquí consideradas se produce en dos situaciones fundamentalmente diferentes: 1) en zona vadoso-capilar (anhidritización en ambiente sabkha), y 2) durante el enterramiento de subsidencia (anhidritización en profundidad). En ambos casos pueden intervenir factores genéticos que aunque responden a causas diferentes producen efectos que pueden ser similares, tales como la rotura, reorientación e interpenetración cristalina, así como el comportamiento fluidal de la fábrica si se genera sobrepresión de fluido. En consecuencia, puede resultar difícil conocer en qué situación ocurrió una cierta anhidritización sólo mediante el estudio de sus fábricas cristalinas.

Los dos hábitos cristalinos, equidimensional y prismático, aquí distinguidos, son de crecimiento original en las fábricas, aunque en determinados casos uno de ellos podría generarse por recrystallización parcial del otro.

Las fábricas prismáticas presentan series continuas entre sus diferentes tipos morfológicos en función de los mecanismos de desarrollo, e igualmente pueden gradar hacia fábricas granulares por efectos severos de rotura. Las fábricas mixtas no son necesariamente producto de recrystallización, en general, sino que más probablemente reflejan estadios sucesivos de anhidritización espaciados en el tiempo.

Las fábricas granulares de litofacies laminadas estudiadas por nosotros son de origen secundario (reemplazamiento de yeso primario). Esta conclusión podría quizá ser extendida a muchas anhidritas laminadas (de «cuenca») descritas en la literatura como primarias en un sentido deposicional, incluso aún cuando presentan fábricas prismáticas desorientadas.

Los dos hábitos cristalinos principales aquí descritos para las litofacies laminada y nodular de la anhidrita son, según nuestra experiencia, en esencia los mismos que los que presenta dicho mineral cuando se asocia a otros de mayor solubilidad, como glauberita, polihalita o halita.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La explotabilidad de muchos materiales evaporíticos, así como su asociación a numerosos yacimientos de gas e hidrocarburos, les confiere una importancia económica considerable. Las facies de sulfato cálcico constituyen con frecuencia un porcentaje elevado del volumen total de roca en tales formaciones, siendo la anhidrita el mineral principal en profundidad. Gran cantidad de yacimientos de yeso presentes en superficie o inmediata subsuperficie provienen de la hidratación de dicha anhidrita, pudiéndoseles considerar como de yeso secundario (Ortí Cabo, 1977), frente a los depósitos de yeso primario, que nunca han sido anhidritizados.

La década de los sesenta vio la aparición de una serie de trabajos fundamentales para el conocimiento sedimentológico y petrológico de las formaciones anhidriticas, de los que

destacaremos sólo algunos de los principales. Riley y Byrne (1961), inspirados en ideas de Forgotson (1956), reprodujeron mediante experimentos de laboratorio las diferentes macroestructuras de carácter más o menos fluidal que suelen presentar las litofacies anhidriticas. Murray (1964) evidenció el ciclo del sulfato cálcico en profundidad-superficie, que había sido ya postulado por diferentes trabajos anteriores, y ofreció unas observaciones precisas de la transformación anhidrita-yeso. Shearman (1966) y Kinsman (1966), entre otros, dieron a conocer las particularidades petrográficas del hallazgo de anhidrita diagenética subactual del Golfo Pérsico. Basándose en las texturas de dichas anhidritas, Shearman y Fuller (1969) ofrecieron la primera interpretación genética significativa de las principales fábricas cristalinas de la anhidrita en las formaciones antiguas. Paralelamente, Maiklem et al. (1969) dieron una visión bastante completa de las litofacies con que se presenta la anhidrita en los sondeos, así como un esquema sencillo de clasificación de sus texturas cristalinas, y Hardie (1967) consiguió sintetizar por primera vez cristales de anhidrita en el laboratorio.

En la última década la atención se ha centrado, aparentemente, en la interpretación de los ambientes de formación de la anhidrita en función de las litofacies que presenta y del contexto sedimentológico general, como es el caso de los trabajos de Bebout y Maiklem (1973). Dean et al. (1975), Davies (1977) y Purser (1980), por destacar los más significativos. Sin embargo, la mayoría de los trabajos eluden profundizar en el planteamiento, en nuestra opinión básico, de si la anhidrita es primaria o secundaria en las litofacies que describen e interpretan.

Por ello nos ha parecido de interés el insistir en este tema, habiendo centrado nuestro estudio en las fábricas cristalinas de rocas anhidriticas con litofacies tanto laminadas como nodulares, o de tipos intermedios. En el presente trabajo omitiremos una descriptiva de las morfologías macroscópicas de la anhidrita, remitiendo al lector interesado al tratamiento casi exhaustivo antes citado de Maiklem et al. (1969).

Para el presente trabajo hemos revisado las litologías y preparaciones microscópicas de nuestro archivo, pertenecientes en gran parte a formaciones anhidriticas de cuencas evaporíticas españolas, de algunas de las cuales ya hemos ofrecido observaciones petrográficas sueltas en anteriores trabajos (Tabla I). Hemos seleccionado muestras de anhidrita, estudiando de ellas un total de 184 preparaciones. Adicionalmente hemos realizado observaciones sobre numerosas preparaciones de yeso secundario (Ortí Cabo, 1977, Tabla I), pues con frecuencia su estudio en luz paralela permite conocer la fábrica de la anhidrita precursora, que se marca contra el sedimento encajante. Otra larga serie de observaciones se ha realizado sobre preparaciones de rocas de halita, halita-anhidrita y glauberita-anhidrita para comparar los hábitos y tamaños cristalinos más frecuentes de la anhidrita cuando se asocia a minerales más solubles. De un modo sistemático hemos medido los tamaños más significativos en las preparaciones, en general el promedio y el máximo.

Un aspecto no abordado en el presente trabajo es el de las fábricas cristalinas de la anhidrita de reemplazamiento sobre rocas carbonatadas, en general caracterizadas por cristales grandes y relativamente idiomórficos. De este tema puede encontrarse detalles en los artículos de Murray (1964), Maiklem et al. (1969) y Shearman (1971), entre otros. También ha quedado fuera del objetivo del presente trabajo el estudio de las fábricas anhidriticas de origen tectónico

TABLA I

<u>Edad y ambiente sedimentario</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
MIOCENO (continental)			
Remolinos (Zaragoza)	7	11	(1)
Villarrubia de Santiago (Toledo)	27	37	(2)
Cerezo de Río Tirón (Burgos)	5	6	(2)
OLIGOCENO (marino)			
Mulhouse (Alsacia, Francia)	4	11	-
OLIGOCENO (continental)			
Mormoiron (SE Francia)	1	1	(3)
Asentiu (Lérida)	6	10	-
EOCENO (marino)			
Òdena (Barcelona)	11	22	(4)
Cuenca Potásica de Navarra	18	37	(5)
Campdevàrol (Gerona)	1	2	-
TRIÁSICO (transición)			
Baix Ebre (Tarragona)	25	27	(6)
Pont d'Armentera (Tarragona)	4	9	(6)
Pinoso (Alicante)	6	6	-
Varangéville (Nancy, Francia)	3	3	-
PERMICO (marino)			
Sigmundshall Werk (Wunstorf, Hannover)	4	2	-
TOTAL:	122	184	

Tabla I.- Formaciones anhidriticas estudiadas petrográficamente en alguna sección estratigráfica representativa.

A: n.º de muestras seleccionadas

B: n.º de preparaciones microscópicas estudiadas

C: referencias petrográficas de estas formaciones: (1) Ortí Cabo y Pueyo Mur (1977); (2) Ortí Cabo et al. (1979); (3) Truc (1979); (4) Ortí Cabo y Palou (1977); (5) Rosell Ortiz y Ortí Cabo (1980); (6) Ortí Cabo y Bayó (1977).

co («anhidrita esquistosa» de Schwerdtner, 1970).

Digamos finalmente que, aunque la cantidad de formaciones anhidriticas estudiadas es muy limitada, éstas cubren (Tabla I) una gran variedad de ambientes (marinos, continentales, de transición), litofacies (laminadas, nodulares, masivas) y edades (Permico, Triásico, Eoceno, Oligoceno, Mioceno) por lo que confiamos que alguna o algunas de las conclusiones de nuestro trabajo puedan generalizarse (fig. 1).

#### HABITOS CRISTALINOS DEFINIDORES DE FABRICA

Del conjunto de estudios petrológicos realizados, de los que ofrecemos tres ejemplos seleccionados en el Apéndice, podemos resumir que las microestructuras que presentan las rocas anhidriticas, tanto en sus litofacies laminadas como

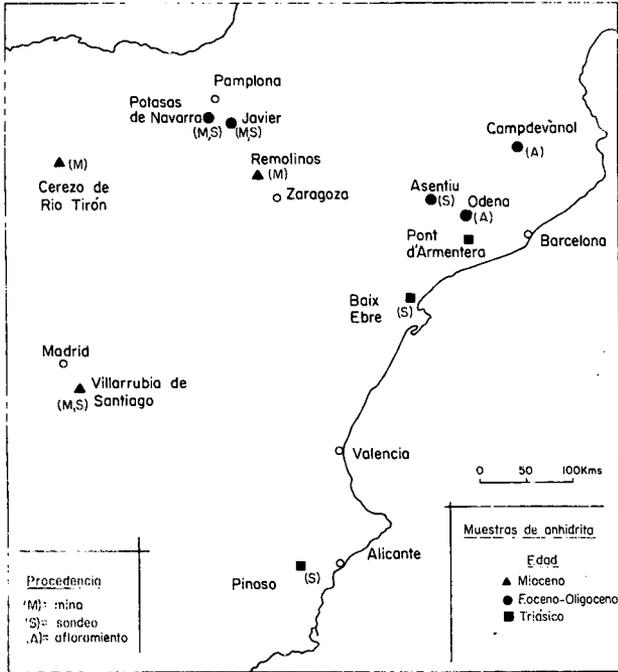


Fig. 1. Situación de las formaciones anhidriticas de la Península Ibérica estudiadas en el presente trabajo.

nodulares, muestran la dominancia de dos tipos de hábitos definidos por:

- secciones equidimensionales, correspondientes a cristales cuadrado-rectangulares,
- secciones elongadas, correspondientes a cristales o fragmentos cristalinos tabulares que al microscopio dan secciones prismático-elongadas (elongado-rectangulares), que denominaremos simplemente «prismáticas».

El límite de ambas morfologías en las secciones cristalinicas es impreciso, y arbitrariamente lo establecemos (fig. 2) en una relación longitud/anchura igual a 4 ( $L/A=4$ ).

Las secciones equidimensionales o cuadrado-rectangulares (*blocky, subequant*, de algunos autores anglosajones) dan lugar a fábricas relativamente homogéneas, y más o menos densas en función de la interpenetración de los individuos. En ocasiones llega a observarse una disposición preferente de los cristales subparalela a la estratificación. Los tipos de fábrica a que dan lugar las masas de cristales cuadrado-rectangulares han sido referidas clásicamente como *pile of bricks* (en pila de ladrillos). En ellas la tendencia idiomórfica de los individuos y la porosidad tienden a perderse a medida que el efecto de compactación (o presión en general) es mayor. El tamaño de las secciones cuadrado-rectangulares es muy variable, y puede superar ampliamente las 500 m.

Las secciones elongadas, es decir prismático-elongadas (*laths* de los autores anglosajones), son también muy corrientes y dan lugar a diferentes tipos de fábricas. Los autores se han referido a este hábito bajo los calificativos de anhidrita «prismática», «tabular» («tabletas» paralelas a

		Componentes Petrográficos	FABRICAS no orientadas	HOMOGENEAS orientadas
$L/A > 4$	CRISTALINO	Prismas individualizados (sin límite de tamaño)	DESORIENTADA ("decussate", "felted")	PRISMATICO-ALINEADA (-subalineada)
		Agregados de Prismas:		
		- en haces	FASCICULAR Microfascicular ( $L < 150 \mu$ )	
		- en paralelo		
$L/A = 4$	CRISTALINO	- en abanico	FIBROSO-RADIADAS	
		- en esferulitos	ESFERULITICA	
$L/A < 4$	HABITO	Mosaico cristalino	GRANULAR Microgranular ( $L < 60 \mu$ )	GRANULAR-ALINEADA (-subalineada)
		Cristales Individualizados (destacados sobre una "matriz" de menor tamaño)		Microgranular-alineada (-subalineada)

Fig. 2. Esquema petrográfico de clasificación de las fábricas cristalinicas homogéneas (en el sentido de un sólo componente petrológico dominante) de las rocas de anhidrita en sus litofacies laminadas, nodulares y de tipos intermedios. L: longitud, A: anchura.

(001) de Dunham, 1948), y ocasionalmente «acicular» o en «agujas» o «bastones» (Burrollet, 1979, lámina 37). Los cristales tabulares o «prismas» pueden mostrarse individualizados o bien enlazarse dando agregados con diferentes sistemas de organización: paralela, radial, incluso esferulítica. El tamaño de los prismas es muy variable, llegando a alcanzar varios milímetros (Dunham, 1948, los describe entre 10  $\mu$  y 2,5 mm). Los agregados en paralelo dan lugar a cristales, en ocasiones milimétricos, compuestos de numerosos individuos dispuestos estrictamente en la misma orientación. Pero las más leves deformaciones ponen de manifiesto el carácter poliprismático del cristal (fig. 24).

Naturalmente muchas fábricas cristalinas presentan caracteres intermedios entre las de hábitos equidimensionales y prismático-elongados que acabamos de referir. La existencia de fábricas anhidriticas con tamaños bien diferenciados de cristales permite hablar de «matriz» anhidritica para designar los más finos.

Aunque con menor frecuencia, en las microestructuras de las rocas anhidriticas estudiadas puede encontrarse otros hábitos cristalinos:

- áreas fibrosas: se trata de masas informes de textura interna fibrosa y extinción de irregular a relativamente homogénea. Fig. 26.
- cristales aciculares, de muy alta relación I/A.
- grandes cristales cuadrado-rectangulares, relativamente individualizados, y de tamaños de uno o varios milímetros, y en ocasiones de contorno ligeramente fusiforme.

Los dos últimos tipos son, en realidad, más frecuentes en cristales de anhidrita asociados a otros minerales. Así, las acículas anhidriticas suelen estar presentes como inclusiones en cristales de halita o yeso, y los grandes cristales equidimensionales suelen presentarse en las rocas de halita, así como en la anhidrita de reemplazamiento sobre rocas carbonatadas.

En las fábricas anhidriticas los espacios intercrystalinos suelen estar ocupados por carbonato micrítico, siliciclásticos de tamaño lutita, materia orgánica o simplemente porosidad.

## FABRICAS CRISTALINAS DE LA ANHIDRITA LAMINADA Y NODULAR

Podemos dividir las principales fábricas cristalinas de las rocas anhidriticas en dos grandes grupos: fábricas homogéneas y fábricas mixtas, según que estén integradas predominantemente por un solo hábito o bien por varios. Dentro de las homogéneas (fig. 2) cabe distinguir entre prismático-elongadas y equidimensionales, pudiendo ser en ambas fábricas ligeramente variable el tamaño cristalino de sus componentes. Otra categoría diferente y subordinada de microestructuras la constituye la existencia de una cierta deformación singenética o de compactación que reorienta las fábricas anteriores, hecho muy normal en la petrogénesis de la anhidrita.

### A) Fábricas homogéneas prismático-elongadas

Están constituidas predominantemente por secciones prismático-elongadas (*laths*). Estas fábricas presentan una cierta heterometría de grano en función de las secciones posibles de los individuos tabulares o de sus fragmentos. El tipo básico de fábrica es desorientado, siendo modificaciones de ella los tipos que denominaremos fascicular, microfascicular y concéntrico. Tipos más particulares son los fibroso-radiado y esferulíticos.

*Desorientada.* Fábrica abierta de prismas individuales de

anhidrita sin orientación definida. Los prismas no suelen superar las pocas décimas de mms de longitud, aunque pueden llegar al orden milimétrico. Figs. 3 a 6, Lámina 1.

El término ha sido usado en Orti Cabo y Pueyo (1977) inspirado en el original *decussate* de Shearman (1966) y *decussate arrangement* de Shearman y Fuller (1969). Lo hacemos equiparable (sin atenernos a límites de tamaño) al de *felted* de Maiklem et al. (1969), definido como «masa de cristales de forma *lath* en orientación al azar y con longitudes inferiores a 0,5 mms», y está en relación con el de *felted lath texture* de Holliday (1973). Entre otros, Riley y Byrne (1961) (*felted interlocking mass of acicular crystals*), Carozzi (1960), Kerr y Thomson (1963), Jones (1965) y Kent (1968) han utilizado el término *felty* o *felted* en un sentido más o menos equiparable al nuestro. Otros autores usan el término *random fabric* (Friedman, 1973) o *randomly oriented* (Hsü y Schreiber, 1973) para referirse a texturas desorientadas o al azar de los prismas de anhidrita. El término «microestructura no orientada» ha sido igualmente utilizado en Orti Cabo y Bayó (1977).

La reorientación de los prismas debido a la mutua interacción por su propio crecimiento progresivo y/o a compactación, produce fábricas prismático-alineadas. Figs. 7 y 8, Lámina 1.

Este término sería así equiparable a los de *aligned fabric* y *subparallel fabric* de Shearman (1966) y Shearman y Fuller (1969), *aligned-felted* (Maiklem et al. 1969), *foliated texture* (Jones, 1965), *gneissic anhydrite* (Bundy, 1956; Brown, 1931; Kent, 1968; Guillemin, 1979), *subparallel fabric* (Friedman, 1973), «orientación subparalela a la estratificación» (Murray, 1964, fig. 4), entre otros.

*Fascicular.* Refiere la presencia de agregados de prismas de anhidrita orientados subparalelamente entre sí en cualquier dirección del espacio, y determinando áreas que se abren en forma de haz, fascículo o gavilla. Estas áreas suelen estar desorientadas entre sí. Fig. 9.

El término ha sido utilizado en Orti Cabo y Pueyo (1977) en el estudio de nódulos de anhidrita. Aunque no exactamente equiparable, la *wheat-sheaf fabric* de Holliday (1973) hace referencia a organizaciones en espiga de los *laths* anhidriticos. Dunham (1948) observa la orientación más o menos paralela, por zonas, de las *tablets* de anhidrita. En parte, la textura *felted* de Maiklem et al. (1969) se refiere también a esta organización, en conjunto desorientada, aunque orientada por grupos.

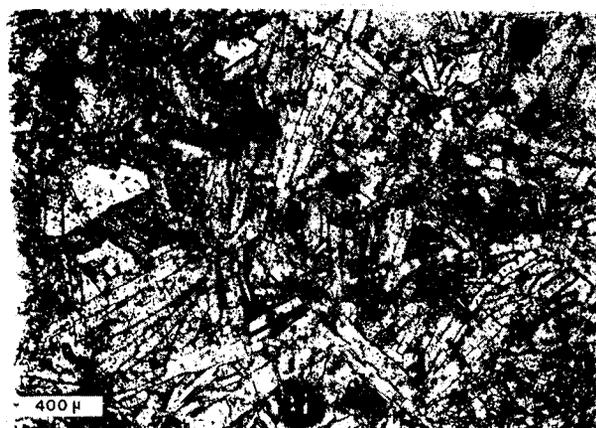
*Microfascicular.* Puede utilizarse este término para fábricas fasciculares de longitudes máximas de los prismas inferiores a 150-200  $\mu$ . Figs. 10 a 12.

Podría equivaler a la idea que desea expresar la textura *subfelted* de Maiklem et al. (1969), en el sentido de que el tamaño menor de los prismas comienza a darle una apariencia de fábrica microcristalina. Sin embargo, la observación detallada de tales fábricas permite relacionarlas más con la desorientada que con las equidimensionales de grano fino. *Subfelted* es descrita por Maiklem et al. (1969) como una textura que combina anhidrita microcristalina (inferior a 60  $\mu$ ) y pequeños cristales prismáticos de longitud inferior a 0,5 mm. Tal descripción refiere el carácter natural de transición entre las fábricas microcristalinas y las desorientadas en lo que tanto a tamaño como a hábitos cristalinos se refiere.

*Concéntrica.* Hace referencia a una disposición concéntrica o tangencial de los prismas de anhidrita en los nódulos.

El término ha sido usado por Wardlaw y Schwerdtner (1966). Shearman y Fuller (1969) describen la disposición tangencial de muchos prismas en el borde externo de los nódulos. Otros muchos trabajos (Riley y Byrne, 1961; Orti Cabo y Pueyo, 1977; entre otros) describen la disposición paralela de los prismas en el contacto con el sedimento encajante.

*Fibroso-Radiada.* Refiere la presencia de agregados de cristales prismáticos con tendencias en abanico o incluso totalmente circulares, alcanzando tamaños hasta milimétricos (*fan-shaped aggregates of radiate prisms* de Schaller y Henderson, 1932). Tales agregados pueden también tapizar



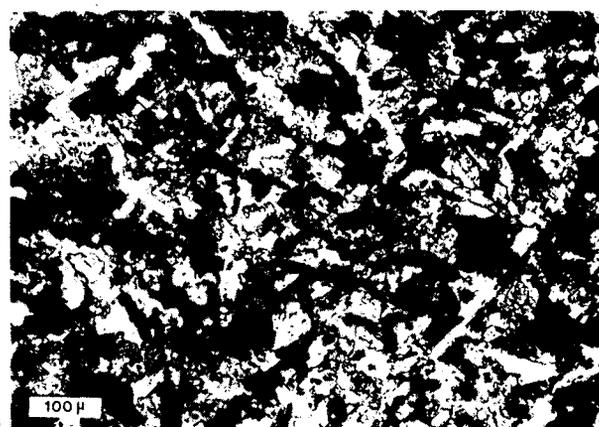
3



4



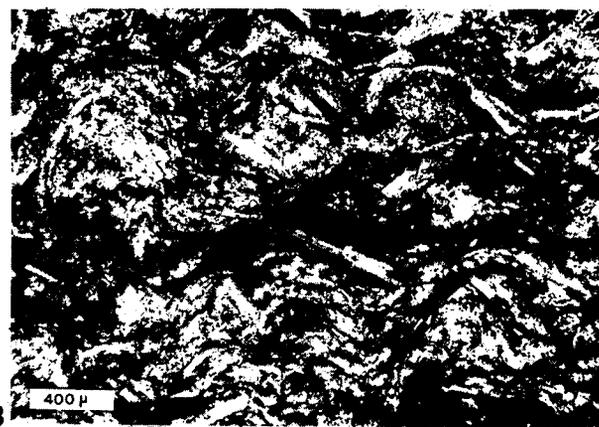
5



6



7



8

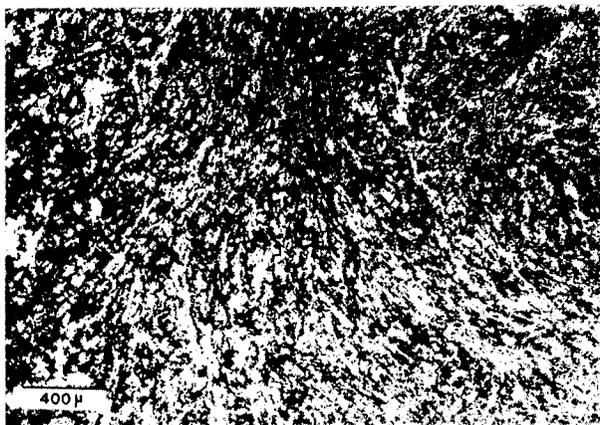
LAMINA I. FÁBRICAS PRISMÁTICAS.

Figs. 3 y 4. Fábrica desorientada. Algunos prismas están interpenetrados, curvados o fracturados. Mazan, cubeta Mormoiron (SE Francia). Oligoceno. L.P. y N.C. respectivamente.

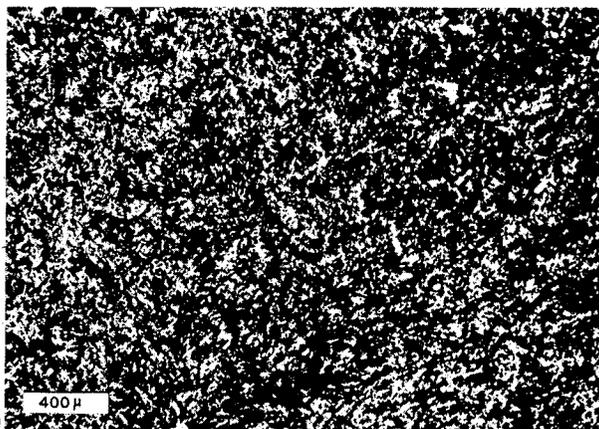
Fig. 5. Fábrica desorientada. Anhidrita laminada del «falso muro» lutítico de la capa potásica inferior de Mulhouse (Alsacia, NE Francia). Oligoceno. L.P.

Fig. 6. Fábrica desorientada con cristales interpenetrados y abundante dolomita ocupando posiciones intersticiales. Anhidrita laminada del techo del yacimiento potásico de Navarra. Eoceno superior. N.C.

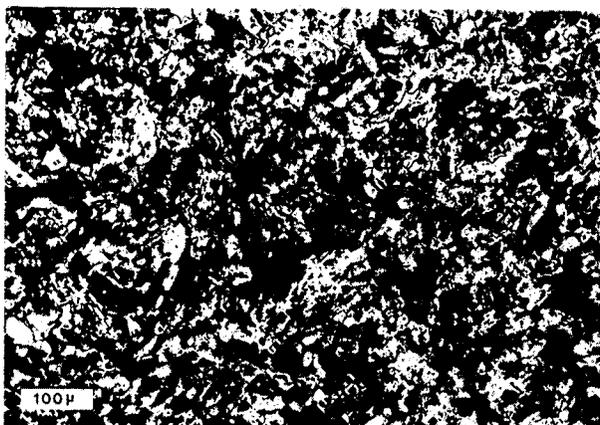
Figs. 7 y 8. Fábrica prismática alineada («crenulada»). Anhidrita basal, laminada, del yacimiento potásico de Navarra. Eoceno superior. L.P. y N.C. respectivamente.



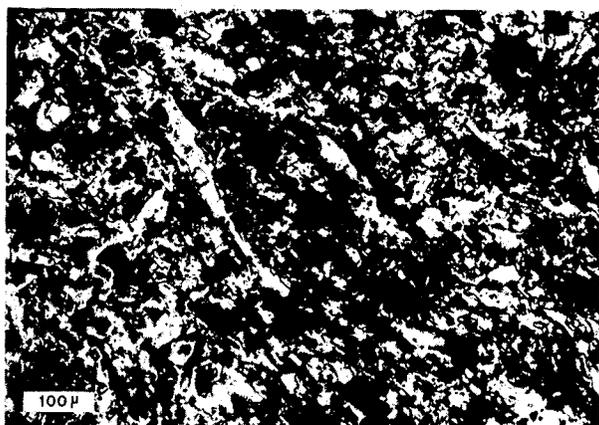
9



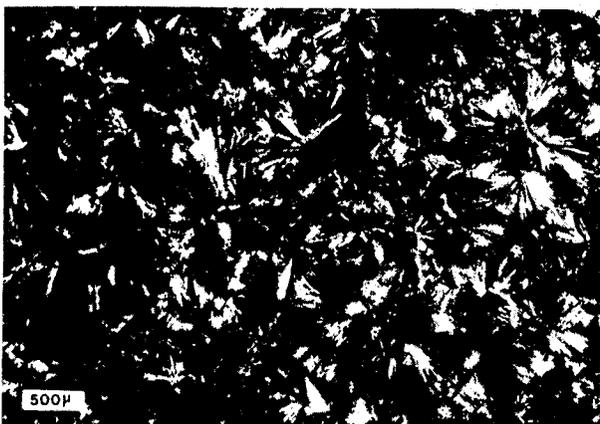
10



11



12



13



14

LÁMINA 2. FÁBRICAS PRISMÁTICAS.

- Fig. 9. Fábrica fascicular. Anhidrita nodular, Remolinos (Zaragoza). Mioceno. L.P.  
 Fig. 10. Fábrica microfascicular. Anhidrita nodular. Sondeo Asentiu (Lérida). Oligoceno. N.C.  
 Fig. 11. Detalle de fábrica microfascicular. Sondeo Asentiu (Lérida). Oligoceno. N.C.  
 Fig. 12. Detalle de fábrica microfascicular. Sondeo Asentiu (Lérida). Oligoceno. N.C.  
 Fig. 13. Fábrica de agregados fibroso-radiados. Odena (Barcelona). Eoceno superior. N.C.  
 Fig. 14. Detalle de crecimiento zonado de prismas de un agregado en paralelo o empalizada. Odena (Barcelona). Eoceno superior. L.P.

grietas, dando aspectos en empalizada. Figs. 13 y 14, Lámina 2.

El término es equiparable a la *fibroradial texture* de West (1964) y Holliday (1973), o *radiating laths* de Hsü y Schreiber (1973), y *divergent radiating fabric* de Shearman (1966). Friedman (1973) usa los términos *stellate fabric* y *radial fabric* para este tipo de disposición. El término está relacionado, en parte, con la *bacilar epigenetic texture* de Ogniben (1957). Puede estar en relación con los abanicos de agujas anhídriticas de Cussey (1977, lámina 69) y «disposición radial» de Truc (1979, lámina 81).

**Esferulítica.** Algunos autores utilizan el término *spherulitic texture* (Bundy, 1956; Friedman, 1973) para fábricas fibroso-radiadas quizá de mayor perfección.

## B) Fábricas homogéneas equidimensionales

Están constituidas predominantemente por cristales cuadrado-rectangulares (*blocks*), que dan fábricas que designaremos genéricamente como «granulares».

**Granular.** Refiere la existencia de un agregado más o menos interpenetrado de cristales de euédrales a subédrales, en función de la interpenetración, con secciones tendentes a cuadradas o rectangulares. El tamaño de estos cristales es relativamente homogéneo (el límite superior no suele superar las 500  $\mu$ , aunque esta cifra puede ser ampliamente rebasada) y con un límite inferior de 60  $\mu$ , inspirado en la clasificación de Maiklem et al. (1969). Así definida, la fábrica granular es equivalente a la *pile of bricks* descrita por Brown (1931) y utilizada por Ogniben (1957) y Shearman y Fuller (1969), aunque en este último trabajo el sentido genético es diferente que para los anteriores. Figs. 15 a 19, lámina 3.

Schaller y Henderson (1932) describen las masas de anhídrita dominantes en sus testigos de sondeo como «masa granular compacta de grano fino». El término textural «granular» ha sido también utilizado por Jones (1965) y Holliday (1969). Anderson y Kirkland (1966) describen la fábrica anhídritica de las láminas de la Fm. Castile como un mosaico de cristales rectangulares. El término «anhídrita granular» ha sido igualmente utilizado por Murray (1964) y Kendall (1975), entre otros. Tal como nosotros usaremos el término fábrica granular, no es equiparable a la textura *blocky* de Maiklem et al. (1969), pues estos autores aplican el término sobre todo para cristales de anhídrita que crecen reemplazando más o menos completamente a rocas carbonatadas, o bien como cemento, y no lo consideran gradacional con las texturas anhídriticas de tamaño más fino (microcristalinas). Tampoco es equiparable con la *lath-shaped texture* de estos mismos autores, quienes en una concepción quizá algo confusa, encuentran una similitud entre dicha textura (de reemplazamiento y de *laths* definidos como mayores de 500  $\mu$ ) y la *pile of bricks* de Brown (1931).

La existencia de alineamiento en las fábricas granulares es un hecho fácilmente observable, especialmente cuanto mayor es el tamaño cristalino de los individuos. Para este tipo de fábricas puede utilizarse el término Granular-Alineada, o simplemente «granoalineada». Fig. 27. Lámina 5.

**Microgranular.** Refiere una textura similar en todo a la anterior, pero con un tamaño promedio inferior a 60  $\mu$ . Aunque en algunos ejemplos estudiados por nosotros dicho límite se revela como útil para separar fábricas equigranulares, en otros casos la gradación de tamaños es más continua. Fig. 20, lámina 3.

Es equiparable a la *microcrystalline texture* de Maiklem et al. (1969). Holliday (1973) refiere como «afániticas» idénticas texturas anhídriticas de grano fino. Anderson et al. (1972) hacen equiparables sus texturas anhídriticas, a base de cristales *blocky* de tamaño promedio inferior a 40  $\mu$  y relación L/A de 1,36, al tipo *pile of bricks*. Friedman (1973) describe fábricas cristalinas de anhídrita desde criptocristalinas hasta el tamaño micra, e indica la posibilidad de que algún tipo de sedimento micrítico sea de anhídrita.

## C) Fábricas mixtas (heterogéneas)

Son relativamente frecuentes las fábricas cristalinas de anhídrita compuestas por dos o más hábitos cristalinos diferentes, de las que aquí sólo destacaremos algunas. Figs. 21 a 25 y 28.

**Porfiroblástica.** Describe la existencia de cristales cuadrado-rectangulares de tamaño relativamente grande, destacando sobre matriz anhídritica (anhídrita microgranular, en general), o bien sobre algún tipo de hábito prismático-elongado. Figs. 21 a 24, lámina 4.

En este sentido ha sido utilizada por Ortí Cabo y Pueyo (1977). El término porfiroblasto fue usado en un sentido similar por Schaller y Henderson (1932) (con matriz anhídritica de pocas decenas de  $\mu$ ), y por Bundy (1956).

Hemos encontrado con frecuencia fábricas granulares que incluyen agregados de prismas, ya sea en grupos paralelos, bien en abanico, bien en esferulitos. Fig. 25.

Este tipo de fábrica mixta también ha sido referido por Holliday (1973) como de presencia frecuente. Friedman (1973) ha mostrado buenos ejemplos de fábricas mixtas, ya sea de agregados fibroso-radiados con prismas desorientados (fig. 5, pág. 618 y fig. 10, pag. 701), o bien de prismas alineados entre nodulos de anhídrita extremadamente microcristalina (fig. 13, pág. 702).

Muchas fábricas, por su carácter de transición entre prismáticas y granulares, pueden ser referidas como «granoprisismáticas», en un sentido puramente descriptivo.

## ORIGEN DE LAS FÁBRICAS CRISTALINAS ANHIDRÍTICAS

### 1) Líneas interpretativas

Existen cuatro grupos principales de interpretaciones genéticas de las fábricas cristalinas en las litofacies laminadas o nodulares de la anhídrita:

- el del origen primario y deposicional, en el sentido de acumulación sedimentaria de cristales de anhídrita de precipitación directa en el seno de un cuerpo de agua, o en la interfase agua-sedimento.
- el del origen diagenético temprano, en el sentido de ser la anhídrita un mineral de crecimiento intersticial entre un sedimento encajante no necesariamente evaporítico, y en condiciones diagenéticas prácticamente sinsedimentarias.
- el del origen diagenético profundo.
- el del origen de recristalización, a partir de una fábrica anhídritica previa.

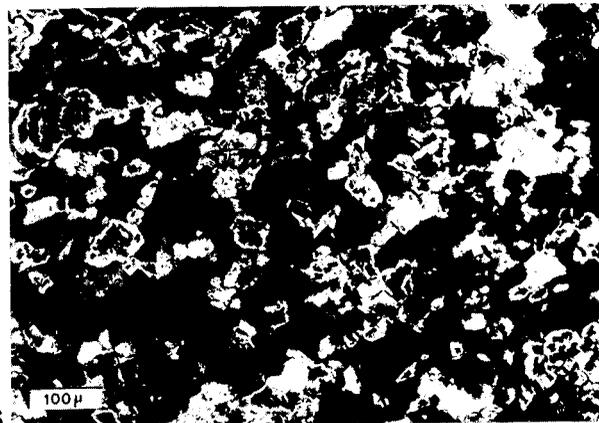
Respecto al primer grupo, cabe citar la interpretación primaria de la anhídrita con fábrica *pile of bricks* de Brown (1931), así como de Ogniben (1957), quien incluso refiere la existencia de supuesto *graded bedding* en las láminas anhídriticas de las Sulfur Series del Messiniense de Sicilia.

Otros autores parecen también aceptar en sus trabajos el origen deposicional de estas fábricas anhídriticas (Carozzi, 1960; Anderson et al., 1972). Dunham (1948) postuló el origen de precipitación directa de la anhídrita, aceptando como probable la existencia de abrasión sedimentaria y distorsión en los cristales al acumularse por corrientes. Riley y Byrne (1961) concluyen igualmente que la anhídrita es una evaporita marina primaria. Stewart (1965, pág. 464) admite que en las litofacies laminadas de las zonas de anhídrita-polihalita del Pérmico inglés la anhídrita es primaria, y pudo proceder de la transformación de yeso durante el proceso de sedimentación del mismo a través de la masa de agua.

El segundo grupo tiene su origen en el hallazgo de la



15



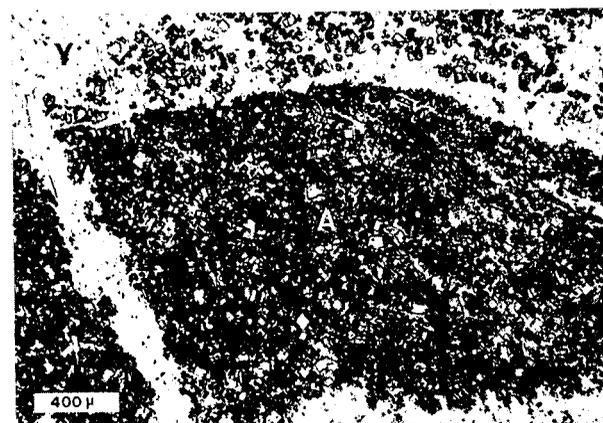
16



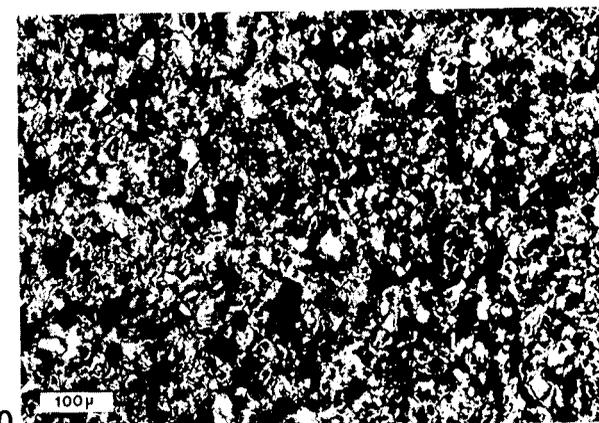
17



18



19



20

LÁMINA 3. FABRICAS GRANULARES.

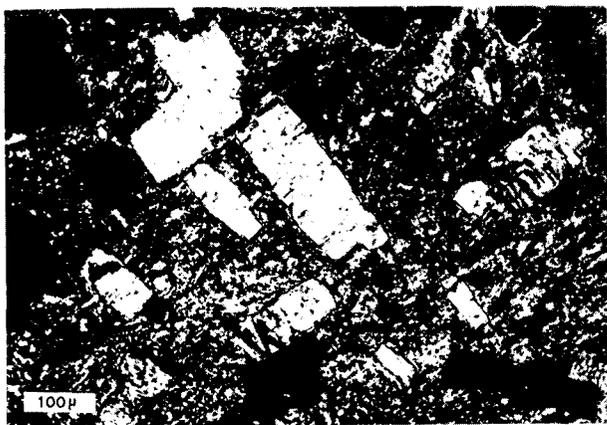
Fig. 15. Fábrica granular, idiomórfica y desorientada. Sondeo 6S, a 60m. Baix Ebre, Triásico. L.P.

Fig. 16. Fábrica granular, con cristales interpenetrados. Anhidrita laminada. Sondeo 7R, a 37.5 m, Baix Ebre, Triásico. N.C.

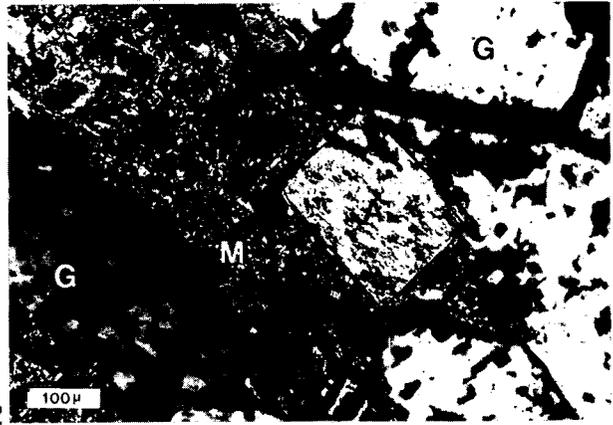
Figs. 17 y 18. Fábrica granular, relativamente heterométrica, de anhidrita ocupando un pseudomorfo (según yeso lenticular). Anhidrita laminada, Sondeo 6S, a 147.9 m. Baix Ebre, Triásico. L.P. y N.C. respectivamente.

Fig. 19. Fábrica granular de anhidrita (A) siendo reemplazada por yeso (Y) megacrystalino secundario. Mina El Casteilar, Villarrubia de Santiago, Toledo. Mioceno. L.P.

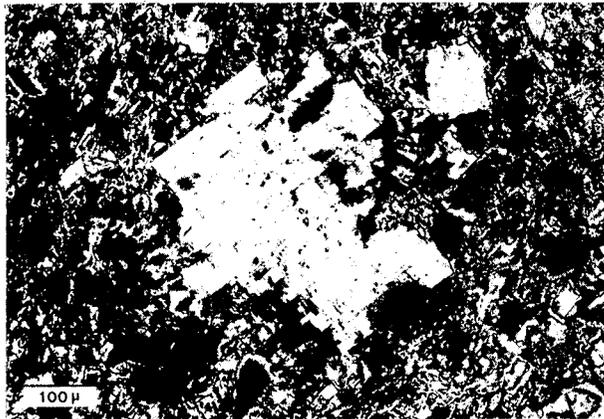
Fig. 20. Fábrica granular de cristales interpenetrados y con ligera tendencia alineada. Anhidrita laminada, Sondeo 6S, a 133,5 m. Baix Ebre, Triásico. N.C.



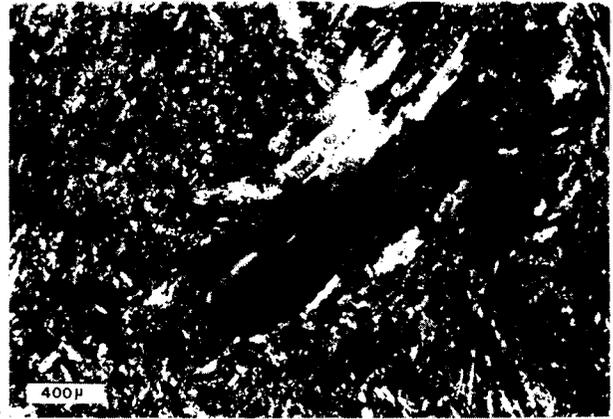
21



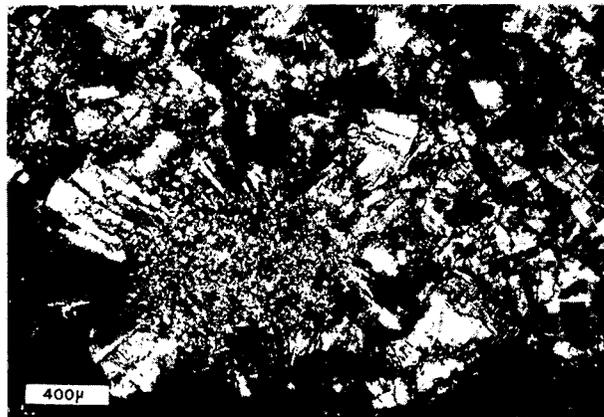
22



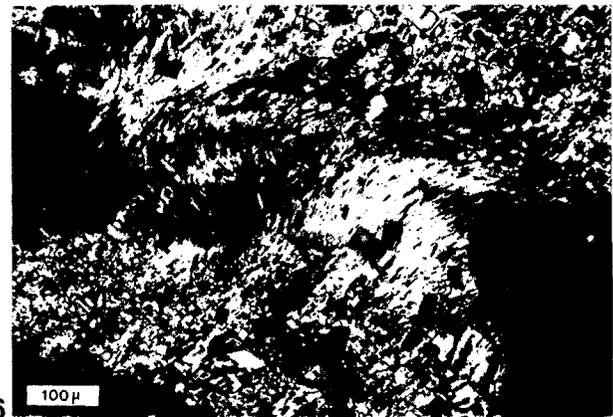
23



24



25



26

#### LÁMINA 4. FÁBRICAS MIXTAS.

Fig. 21. Fábrica porfiroblástica (grandes cristales cuadrado-rectangulares sobre matriz anhidrita). Anhidrita nodular. Remolinos. Mioceno. N.C.

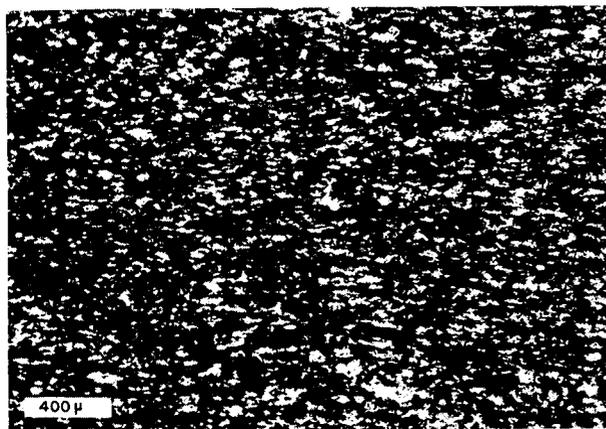
Fig. 22. Fábrica porfiroblástica (grandes cristales de anhidrita, A, sobre matriz anhidrita microgranular, M, entre cristales de glauberita, G). Cerezo de Río Tirón, Burgos. Mioceno. N.C.

Fig. 23. Fábrica porfiroblástica. Anhidrita nodular, Remolinos. Mioceno. N.C.

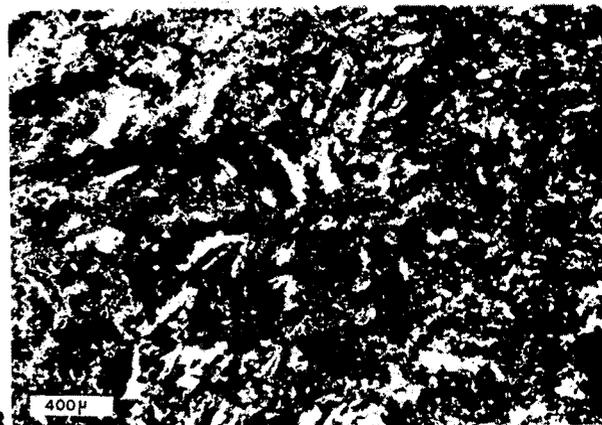
Fig. 24. Cristal «poliprismático» (efectos de deformación) sobre fábrica anhidrita de tamaño promedio mucho menor. Anhidrita bandeada, Campdevàno. Eoceno. N.C.

Fig. 25. Fábrica mixta de agregados esferulíticos con áreas centrales de anhidrita granular. Sondeo 47, a 131 m., Villarrubia de Santiago (Toledo). Mioceno. N.C. Anhidrita bandeada.

Fig. 26. Áreas de anhidrita fibrosa desarrolladas sobre fábrica granular de anhidrita. Anhidrita nodular, Cerezo de Río Tirón (Burgos). Mioceno N.C.



27



28



29

30

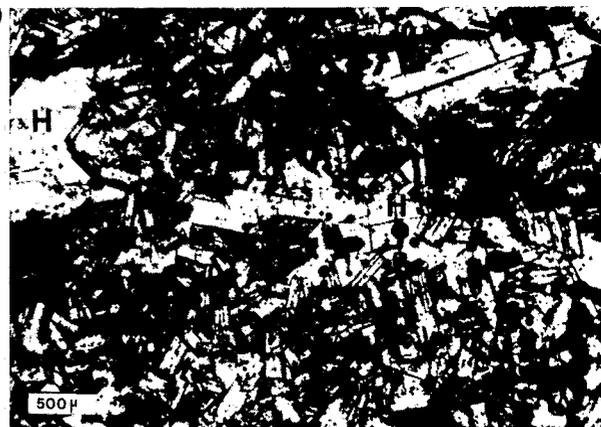


LÁMINA 5.

Fig. 27. Fábrica granular alineada («foliada», efectos tectónicos). Anhidrita laminada, Sondeo 7R, a 49,5 m. Baix Ebre, Triásico. N.C.

Fig. 28. Fábrica mixta, con áreas prismáticas y áreas de matriz. Anhidrita bandeada, CampdevànoI. Eoceno. N.C.

Fig. 29. Bandas claras: anhidrita granular. Bandas oscuras: carbonato micrítico con prismas desorientados de anhidrita. Anhidrita laminada. Sondeo 6S, a 142,3 m. Baix Ebre, Triásico. L.P.

Fig. 30. Anhidrita cuadrado-rectangular sobre cristales de halita (H). Sondeo 47, a 230 m. Villarrubia de Santiago (Toledo). Mioceno. L.P.

anhidrita diagenética temprana en las sabkhas de la Costa Trucial (Golfo Pérsico).

Shearman y Fuller (1969) dan detalles del desarrollo de esta anhidrita y las diferentes fábricas a que dan lugar, que consideran originales. Holliday (1973) acepta el carácter diagenético de la textura microcristalina, así como Friedman (1973) para la fábrica esferulítica en los nódulos de anhidrita.

Sin embargo, cabe hacer en este grupo una doble distinción interpretativa:

- b1) la anhidrita crece únicamente a partir de cristales precursores «in situ» de yeso a los que reemplaza, y
- b2) la anhidrita puede nuclear y crecer intrasedimentariamente sin precursor de yeso, siendo de cristalización «primaria» o «de novo», a partir de la salmuera intersticial.

En opinión de los presentes autores las dos distinciones son válidas. La primera está demostrada por los ejemplos actuales (y numerosísimos ejemplos de formaciones antiguas con pseudomorfos) de reemplazamiento directo e incluso pseudomorfismo de los cristales de yeso por los de anhidrita, aunque en general con pérdida parcial o total de sus contornos (Butler, 1969; Bush, 1973, fig. 11, pág. 407). La segunda (Shearman, 1966, 1978; Nurmi y Friedman, 1977; entre otros) acepta el hecho innegable de que los nódulos de anhidrita crecen progresivamente abarcando áreas y adquiriendo morfologías que de ningún modo pueden representar espacios ocupados previamente por cristales de yeso. Al igual que otros minerales sedimentarios de precipitación directa difícil (dolomita, polihalita, kieserita, etc.), la anhidrita se desarrollaría fácilmente en situación intersticial una vez iniciado, más o menos localmente, el proceso de transformación de una fase mineral previa (yeso, en general).

Por ello usaremos el término «anhidritización» para referirnos a la formación diagenética de la anhidrita, independientemente de que sea un crecimiento «de novo» o un reemplazamiento, ya que tal precisión con frecuencia no es posible establecerla en las rocas anhidriticas antiguas en ausencia de pseudomorfos.

El tercer grupo corresponde a la idea ya clásica de que con la presión de confinamiento y el gradiente geotérmico durante el enterramiento de subsidencia, el yeso es inestable y se transforma en anhidrita. Esta idea corresponde a la de «cambios diagenéticos tardíos y metamórficos geotermales» de Stewart (1965).

Murray (1964) muestra el ciclo geológico del sulfato cálcico, y Holliday (1970), Mossop y Shearman (1973) y Orti Cabo (1977) completan algunos detalles petrográficos del mismo.

El cuarto grupo se refiere a las interpretaciones de recristalizaciones sucesivas de las fábricas de la anhidrita.

Anderson et al. (1972, pag. 70) admiten la recristalización de la anhidrita *blocky* en anhidrita *feltv*, en nódulos que se desarrollan localmente en el seno de las láminas de anhidrita de la Fm. Castile. Holliday (1973) admite una secuencia bastante generalizada de recristalización de la anhidrita afanítica en texturas granulares o prismáticas, e incluso la posterior recristalización de esta última en fábricas granulares o prismáticas de mayor tamaño. Orti Cabo y Pueyo (1977) aceptan la formación de porfiroblastos de anhidrita como de recristalización local de matriz anhidritica. Bundy (1956) considera la *gneissic porphyroblastic texture* como de recristalización (ya sea de anhidrita o de yeso precursor). Mossop (1973) admite la recristalización de anhidrita prismático-alineada en anhidrita *blocky*. Dunham (1948) considera la recristalización de las estructuras anhidriticas en fábricas granulares y prismático-alineadas juntamente con la reorientación y a favor de flujos plásticos.

## 2) Evidencias de la anhidrita subactual e interpretación genética de Shearman y Fuller (1969)

Los hallazgos de anhidrita nodular subactual en el Golfo Pérsico han suministrado un modelo real para la interpretación de algunas fábricas cristalinas de la anhidrita en las formaciones antiguas. La característica principal de tales nódulos, desarrollados en diagénesis temprana en la zona capilar, es su fragilidad y alta deformabilidad.

La anhidrita que los integra está constituida (Shearman, 1966) por láminas de exfoliación según los tres sistemas pinacoidales principales (100), (010) y (001), procedentes de la desagregación mecánica de cristales ligeramente lenticulares alargados según el eje *c*, y tabulares según (100) (Shearman y Fuller, 1969) y con gran cantidad de defectos reticulares (Cuff, 1969). El crecimiento progresivo de tales cristales de anhidrita en disposición desorientada y su mutua interacción, junto con la ligera compactación inicial, lleva a una desintegración general de los mismos en láminas de exfoliación, preferentemente según (100), las cuales presentan al microscopio las típicas secciones prismático-elongadas (*laths*). Butler (1970) ha descrito también la formación de anhidrita de este hábito *felted-lath* y de grano extremadamente fino en la llanura supramareal del NW del Golfo de California. Otras citas de hallazgo esporádico de anhidrita en ambientes evaporíticos actuales, aunque sin detalles petrográficos, pueden encontrarse en Conrad (1975), Gavish (1980) y Arakel (1980), entre otros.

La similitud de muchas fábricas de las anhidritas antiguas con las desarrolladas en las sabkhas subactuales ha llevado a Shearman y Fuller (1969, figs. 3 y 5) a presentar un modelo genético para los tipos *pile of bricks* y *aligned-felted* a partir de las láminas de exfoliación, en función de dos características importantes del sedimento encajante: capacidad de compactación y permeabilidad. Durante la compactación, la existencia de un drenaje libre que elimine la presión de fluido produciría una fábrica de rotura de las láminas y la disposición subparalela a la estratificación de los fragmentos resultantes, relativamente pequeños y equidimensionales, generándose así la fábrica *pile of bricks*. Por el contrario, la dificultad en eliminar el agua intersticial durante la compactación provocaría un incremento de presión de fluido que facilitaría la reorientación de las láminas sin una rotura significativa, generándose así la fábrica *aligned-felted* (prismático-alineada). Los diferentes grados de compactación, reorientación y rotura de las láminas de exfoliación permiten la observación de diversos tipos de fábricas cristalinas en los nódulos, ya señaladas por Shearman (1966): desorientadas, subparalelas entre sí y respecto a la periferia del nódulo, radiales divergentes, orientadas por zonas estrechas de prismas subparalelos que se terminan abruptamente o bien cambian repentinamente de orientación, etc., y estando con frecuencia deformadas, curvadas o rotas las láminas de exfoliación.

## 3) Controles singenéticos de las fábricas cristalinas de la anhidrita

### 3A) Anhidritización en ambiente sabkha

Dos aspectos fundamentales parecen caracterizar pues el comportamiento petrográfico de la anhidrita subactual de la zona capilar, como consecuencia del propio mecanismo (presión de cristalización) y ambiente de cristalización (compactación progresiva y rápida):

1. - Extrema facilidad de desintegración de los cristales iniciales en láminas de exfoliación según 3 pinacoides, con eventuales roturas de láminas.
2. - Deformabilidad de la fábrica, con reorientación de tales

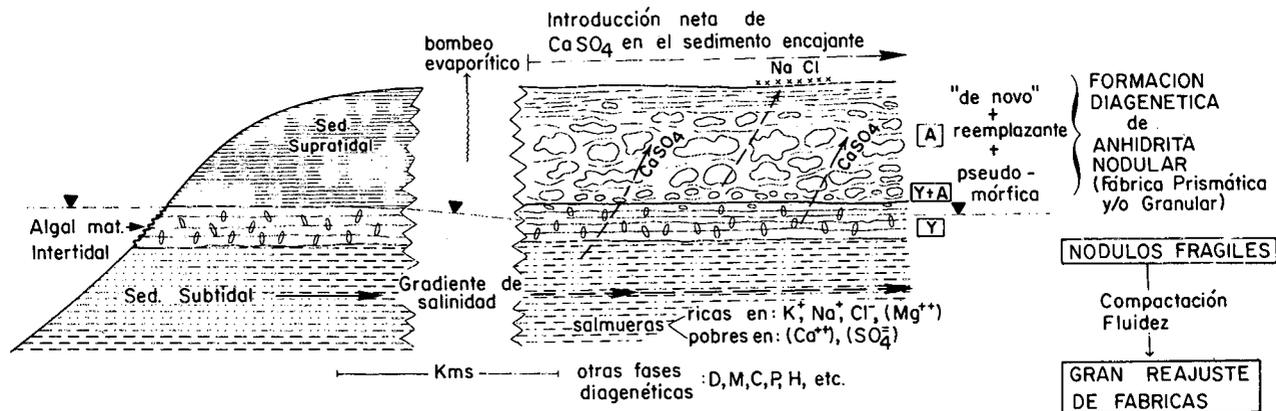


Fig. 31. Esquema genético de anhidrita (predominantemente nodular o bandada nodular) en un ambiente de sabkha costera. Modelo de tidal flat inspirado en figuras de Shearman (1966, 71 y 78). No se hace distinción entre tipo de sedimento carbonatado o bien siliciclástico del sustrato, por lo que algunos iones de la salmuera (entre paréntesis) se enriquecen o empobrecen relativamente sólo en función de la litología del sustrato sedimentario encajante.

láminas y fragmentos, produciéndose verdaderos movimientos fluidales.

Tales hechos ocurren asociadamente a una introducción continuada de  $\text{CaSO}_4$  en el seno del sedimento encajante, que lleva tanto a una expulsión mecánica del mismo, con deformación de las estructuras sedimentarias preexistentes, como a una autodeformación de los nódulos que precisan de espacio en su crecimiento. Aunque existan fases iniciales de yeso, la anhidritización en el ambiente oxidante sabkha lleva, por lo general, a una precipitación final intrasedimentaria de  $\text{CaSO}_4$  muy superior a la de partida y en un sistema totalmente abierto tanto hidráulica como hidroquímicamente. En tal sistema anhidritizante se produce una rápida compactación de los nódulos en condiciones semifluidales de la anhidrita, por lo que se da un importante reajuste progresivo de sus fábricas cristalinas (fig. 31).

### 3B) Anhidritización en profundidad

Sin embargo, la descripción de unos poquitos hallazgos de anhidrita subactual nodular en ambiente sabkha difícilmente podría explicar la totalidad de litofacies y de fábricas cristalinas observables en las numerosísimas formaciones anhidriticas del registro geológico.

Por otro lado, la ausencia generalizada de yeso en los sondeos profundos y no sólo en las formaciones de sabkha sino también en aquellas que muestran litofacies propias de centro de cuenca, sugiere que mucha anhidrita es un producto de reemplazamiento petrológico más o menos profundo (Murray, 1964). Esta anhidrita ha podido generarse por:

- 1) el lavado progresivo del yeso durante la subsidencia por salmueras intersticiales altamente concentradas, expulsadas de formaciones salinas próximas (cloruradas y/o sulfatado-magnésicas). Evidencias de la actuación de este mecanismo de anhidritización las constituyen los numerosos ejemplos de formaciones pseudomórficas de yeso primario, en las que frecuentemente otros minerales más solubles (halita, polihalita) contribuyen a los pseudomorfos, además de la anhidrita.
- 2) simple deshidratación de yeso a diferentes profundidades durante el enterramiento, según el grado geotérmico lo-

cal, y en condiciones muy diferentes a las descritas en la sabkha.

Este segundo caso es probablemente el más frecuente. Una anhidritización por deshidratación «en profundidad», o de subsidencia, puede ocurrir en un sistema relativamente cerrado, que permita sólo la expulsión de agua de deshidratación, y sin una introducción neta de  $\text{CaSO}_4$  en la formación, aunque éste pueda, no obstante, ser ligeramente redistribuido durante la cristalización de la anhidrita. También puede ocurrir en un sistema relativamente abierto, en función de la permeabilidad general del depósito.

Otro posible aspecto importante de una anhidritización de subsidencia residiría en el cambio volumétrico implicado. Tomando como base de cálculo el cambio del volumen molar implicado en la transformación yeso → anhidrita (eliminación de agua) (Mossop y Shearman, 1973, tabla 2), se deduce una reducción volumétrica superior al 38 % (del 30 al 50 % según Pettijohn, 1975) (fig. 32a). Las posibles consecuencias de tal drástica reducción serían, a nuestro entender:

- a) la creación de una porosidad importante en la roca anhidritica, en el caso de no modificarse el volumen total de la fase.
- b) la sobrepresión del fluido de deshidratación, por transmisión parcial a él de la presión litostática de confinamiento (en el caso de que la impermeabilidad de las formaciones encajantes impida una rápida eliminación de tal fluido).
- c) la compactación progresiva de las fábricas anhidriticas, durante su cristalización, a favor de la reabsorción litostática de la reducción volumétrica implicada en la transformación.

La mayoría de observaciones realizadas por nosotros en los casos en que supuestamente ha ocurrido una anhidritización en profundidad, indican que las fábricas son muy poco porosas (en general inferior al 1 %) y a su vez que hay efectos tanto de reorientación como de rotura de los componentes petrográficos anhidriticos, por lo que creemos que tanto b) como c) pueden ser operativos, y en general eliminan la posible porosidad inicial (a) que genera la anhidritización (fig. 32b).

De ser correctas estas observaciones, una posible consecuencia sería que los hechos microestructurales en sí no

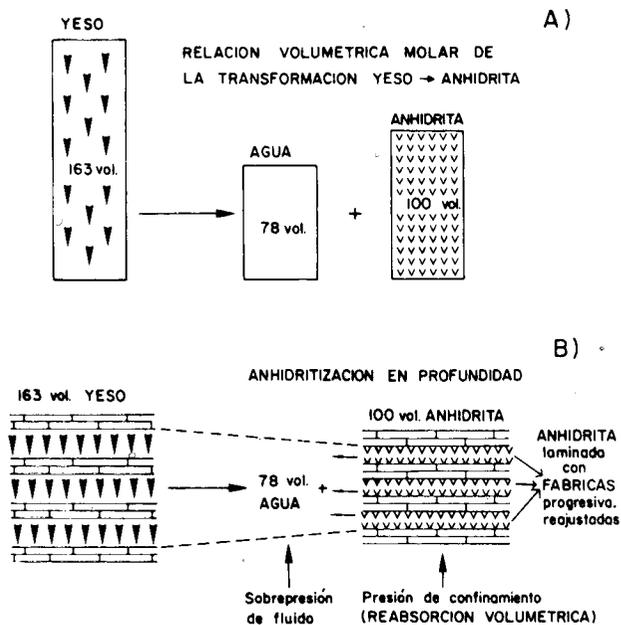


Fig. 32. A: En la transformación en profundidad Yeso  $\rightarrow$  Anhidrita la relación volumétrica molar es de 163 a 100, junto a la adicional liberación de 78 volúmenes de agua. B: En una anhidritización en profundidad (posible ejemplo de algunas laminitas anhidriticas «de cuenca»), supuesto un sistema sólo parcialmente abierto, la reducción de 63 volúmenes supone una importante reabsorción volumétrica impuesta por la presión litostática, que puede afectar a las fábricas anhidriticas a medida que éstas reemplazan al yeso. Si además el sedimento encajante no sulfatado es relativamente impermeable, el fluido liberado soportará parte de esa presión y ello ayudará a la reorientación de las fábricas cristalinas de la anhidrita.

siempre serán criterios válidos para interpretar el ambiente diagnóstico de la anhidritización, pues los mismos efectos de rotura y fluidez de los integrantes de las fábricas cristalinas podrían darse tanto en las anhidritizaciones de sabkha como en las de profundidad. Por ello pueden ser de gran ayuda otras observaciones, como el grado y modo en que la litofacies original del sedimento encajante ha sido transformada.

En otros muchos casos, sin embargo, las anhidritizaciones en profundidad han ocurrido sin reducción volumétrica alguna (Kendall, 1975), o bien con un progresivo reemplazamiento por anhidrita no sólo del yeso sino también de los materiales carbonatados encajantes. En tales casos, la anhidritización ha ocurrido con una introducción neta de sulfato cálcico en la formación, y a favor de un sistema permeable, lo cual produce típicamente mosaicos nodulares, relleno de grietas, cemento anhidritico, etc. Como es obvio, el referido cambio volumétrico tampoco es operativo en un sistema abierto de tipo sabkha, donde la introducción neta de sulfato cálcico puede generar una masa anhidritica muy superior a la inicial yesifera.

## DISCUSIÓN

Los estudios realizados (véase el Apéndice como ejemplo) nos llevan a considerar como de crecimiento original posible a los dos hábitos, equigranulares y prismático-elongados, distinguidos en el presente trabajo como principales en las rocas anhidriticas. En efecto:

- 1) diferentes ejemplos (anhidrita nodular de la Cuenca del Tajo, pseudomorfos de la anhidrita laminada triásica) muestran la dominancia absoluta de hábitos equigranulares, con fábricas relativamente homométricas, que difícilmente pueden ser interpretadas como de roturas completas de otras prismático-elongadas, dado que además, aquel mismo hábito se desarrolla en el seno del sedimento encajante no evaporítico.
- 2) en otros casos (anhidrita nodular de Remolinos, anhidrita de Pamplona, anhidrita laminada de Mulhouse, etc.) las fábricas prismático-elongadas son hechos originales de crecimiento en cualquiera de sus variantes (cristales prismáticos individualizados y desorientados, o bien más o menos orientados; agregados con morfologías multiprismáticas de tipo fascicular; etc.).

Esta afirmación es independiente, sin embargo, del hecho de que en otros casos algunas fábricas de tendencia granular o grano-prismática procedan de la rotura de fábricas de hábito inicialmente prismático, como veremos a continuación.

### A) Evolución singenética de las fábricas de hábito prismático-elongado

Estas fábricas parecen adquirir sus diferentes morfologías a lo largo de procesos singenéticos de: a) rotura, b) reorientación, y c) interpenetración, referibles en gran parte a los tipos descritos por Shearman y Fuller (1969), y causados por algún tipo de compactación. Más ocasionalmente parecen haber ocurrido rotaciones de algunos cristales en las fábricas.

Nuestras observaciones muestran que existen tránsitos graduales y continuos entre todos los tipos de fábricas de hábito inicial prismático-elongado entre sí, y también hacia fábricas más o menos equi-granulares. El efecto de rotura tiende a transformar la fábrica en equigranular, el de reorientación en alineada/subalineada, y el de interpenetración tiende a cerrar la porosidad y a hacer perder el idiomorfismo cuadrado-rectangular de las secciones cristalinas. Un es-

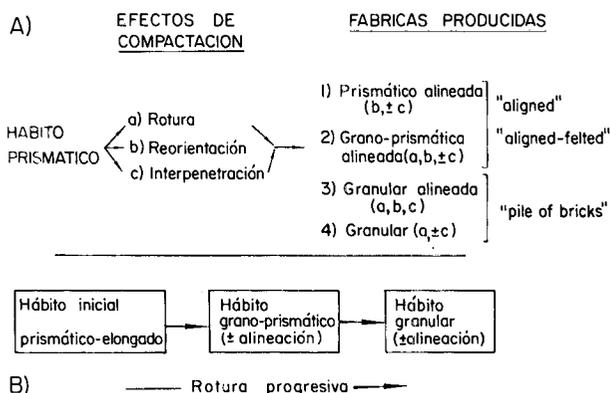


Fig. 33. A: Transformaciones posibles de las fábricas de hábito prismático-elongado inicial bajo los principales efectos producidos por la compactación. B: Marcha general simplificada hacia un hábito granular generalizado, a causa del predominio absoluto del efecto de rotura durante la compactación. El símbolo  $\pm$  indica la posibilidad de intervención de un cierto efecto de compactación, o bien de producción de una cierta fábrica. El efecto de rotura depende en gran modo de la facilidad de expulsión del fluido intersticial y de la capacidad de compactación del sedimento encajante no sulfatado.

quema simplificado de transformaciones sería el de la fig. 33a, aún resumible en la evolución de hábitos, por efecto principal de rotura, de la fig. 33b.

Las fábricas prismático-desorientadas no han soportado, o aparentemente han resistido a los efectos de la compactación.

Las fábricas de hábito elongado de tipos fascicular y microfascicular comportan, por su propia génesis, un cierto grado de rotura en los cristales prismáticos y pueden mostrar la presencia de matriz de origen mecánico en algunas zonas de los fascículos.

El término compactación es utilizado aquí en un sentido amplio, abarcando no sólo el cierre de porosidad que ocurre en el sedimento durante su enterramiento debido a la expulsión de agua intersticial (deshidratación) y al reajuste de la fábrica deposicional con pérdida de porosidad (compactación litostática cuya eficacia comienza a manifestarse ya en el ambiente *sabkha*), sino también al cierre del volumen (reabsorción litostática, fig. 32b) generado en una transformación mineralógica del tipo (fig. 32a) yeso → anhidrita que implica pérdida de volumen en la fase sólida.

En conclusión corroboramos la existencia de:

- 1) las secuencias genéticas de fábricas «decusada → alineada» y «decusada → *pile of bricks*», de Shearman y Fuller (1969).

Debemos puntualizar, sin embargo, que no hemos observado ejemplos claros en que la rotura de los prismas sea total, dando una fábrica de fragmentos homométricos y con una orientación subparalela a la estratificación bien definida. Por el contrario, creemos que la producción de fábricas equidimensionales a partir de prismático-elongadas no implica necesariamente el subalineamiento de los individuos de aquellas, siendo preferente el efecto de rotura sobre el de reorientación.

- 2) la serie textural continua: «microcristalina → *subfelted* → *felted*», de Maiklem et al. (1969).

- 2) Sin embargo, cabe insistir que dichos autores no interpretaron la génesis de las texturas y no especificaron la existencia de algún sentido evolutivo determinado en su serie textural. Por otro lado, las limitaciones de tamaño asignadas por dichos autores en su serie textural no nos parecen justificadas. Tal serie sólo tendría pues un sentido descriptivo al compararla con la nuestra «prismática → grano-prismática → granular».

## B) Fábricas porfiroblásticas

La presencia de diferentes generaciones cristalinas en las fábricas anhidriticas, que hemos denominado mixtas en general, es un hecho relativamente común, y que puede llevar a interpretaciones erróneas de «recristalización».

Los casos más claros son los de fábricas porfiroblásticas de cristales con hábitos por lo general equidimensionales. En ellas, probablemente, los de mayor tamaño suelen representar generaciones posteriores a los de menor tamaño (matriz). El crecimiento de la generación mayor puede implicar la corrosión parcial de la matriz, hecho que se manifiesta por la presencia de pequeñas inclusiones relictas de granos de matriz en los porfiroblastos. En otros casos, sin embargo, hemos observado el efecto contrario, en que grandes áreas anhedrales monocristalinas son el residuo del reemplazamiento por la generación de tamaño más fino. Las generaciones porfiroblásticas se presentan tanto sobre matrices granulares (anhidrita de la Cuenca del Tajo, anhidrita de Cerezo del Río Tiron), como sobre fábricas prismático-elongadas (anhidrita de Remolinos).

## C) «Recristalización» de las fábricas de anhidrita

Holliday (1973), aún reconociendo el carácter diagenético de la anhidrita nodular en un amplio número de formaciones estudiadas, sugiere la existencia de una cierta secuencia generalizable de recristalización de la misma. En el apartado del presente artículo dedicado al origen de las fábricas hemos indicado otros trabajos que interpretan la intervención de procesos de recristalización.

Deseamos en primer lugar advertir de las posibles confusiones entre una recristalización y una sucesión de estadios de cristalización. En un trabajo anterior dedicado a la petrología del yeso secundario (Ortú Cabo, 1977) se puso de manifiesto que el proceso de reemplazamiento petrológico sobre la anhidrita puede ocurrir en estadios sucesivos, comportando finalmente la aparición de fábricas mixtas de yeso secundario, en las que cada generación respeta por lo general, o afecta sólo ligeramente a las anteriores. La observación de una fábrica típicamente heterogénea de yeso secundario puede causar la falsa impresión de que el propio yeso está «recristalizado». Algunas supuestas «recristalizaciones» de la literatura anhidritica pueden igualmente reflejar tan sólo la existencia de varias generaciones de anhidritización, ya sea «de novo» o bien sobre el yeso precursor, con hábitos, tamaños cristalinos y edades diferentes y que responden a cambios en las condiciones fisico-químicas de transformación yeso → anhidrita. Así pues, creemos que algunas de las recristalizaciones referidas pueden reflejar más bien anhidritizaciones multiestádicas.

Otros casos de supuesta recristalización pueden ser atribuidos simplemente al efecto de rotura entre los componentes petrográficos debido a la compactación y/o interacción de crecimiento, como se ha visto en el apartado A) de esta discusión.

Algunas preparaciones de la anhidrita esferulítica de Odena presentan matriz de aspecto «cataclástico» y transitos de prismas elongados a áreas fibrosas, que serían fácilmente atribuibles a procesos de «recristalización». Pero incluso la coexistencia de grupos esferulíticos con generaciones anhidriticas de menor tamaño y mayor sencillez organizativa, en tal ejemplo, son hechos que consideramos sinérgicos en la fábrica y no implican recristalización.

Por otro lado, los ejemplos más claros de fábricas mixtas y porfiroblásticas los hemos observado en formaciones anhidriticas que comportan términos halíticos: asociación halita-anhidrita de Remolinos; capas de anhidrita-glauberita-halita de la Cuenca del Tajo; anhidrita basal (0,7-1 m) de la formación clorurada de Navarra; etc. Las diferentes generaciones de anhidrita en estos casos deben suceder (Ortú Cabo y Pueyo, 1977) a favor de reacciones de precipitación, disolución o transformación de los minerales de mayor solubilidad en las paragénesis, tal como fue sugerido por Schaller y Henderson (1932) para el caso de los grandes cristales de anhidrita en relación más o menos estrecha con la halita.

## D) Fábricas «primarias» granulares de las anhidritas laminadas

En el apartado de fábricas granulares y en el del origen de las fábricas hemos indicado la interpretación primaria que algunos autores han dado al tipo *pile of bricks* de las anhidritas laminadas (Brown, 1931; Dunham, 1948; Ogniben, 1957; Carozzi, 1960; Riley y Byrne, 1961; entre otros). En nuestra opinión, tales fábricas granulares (equidimensionales) responden, al menos en los ejemplos que hemos estudia-

do (Triásico del Baix Ebre, anhidrita basal de Navarra; ver Apéndice), a reemplazamientos indudables de láminas y cristales yesíferos precursores, es decir, a procesos en todo caso diagenéticos pero nunca primarios en el sentido deposicional. Por otro lado, muchos autores basándose en consideraciones ya sea teóricas, ya sea de campo, admiten que no es la anhidrita sino el yeso la forma primaria deposicional del sulfato cálcico (Braitsch, 1971; Borchert y Muir, 1964; Murray, 1964; Butler, 1969; entre otros muchos).

Numerosos argumentos sedimentológicos actuales apoyan esta idea, como: los hallazgos en el fondo del Mar Muerto de ritmos de halita-yeso subactuales a profundidades de lámina de agua entre 32-40 m (Neev y Emery, 1967); o de halita y yeso actuales a profundidades de hasta 240 m de masa de agua (Beyth, 1980); la asociación yeso-halita generalizable en las salinas marinas de evaporación (Shearman, 1970; Schreiber y Kinsman, 1975; entre otros muchos), o bien en los lagos del tipo playa (Eugster y Hardie, 1978); etc.

Por otro lado, es un hecho que en los rarísimos hallazgos de anhidrita subactuales conocidos, el crecimiento está confinado a situaciones puramente diagenéticas intrasedimentarias. Igualmente, es indudable el origen diagenético y no deposicional de la anhidrita de cemento de areniscas o bien reemplazante sobre formaciones carbonatadas, a pesar de que en ambos casos suele crecer como una fase sulfatada «de novo», sin precursores de yeso. Todo ello nos lleva a pensar que la anhidrita granular de las láminas anhidriticas asociadas a carbonato y/o materia orgánica en general, del tipo Fm. Castile, por referir el ejemplo quizá más característico y del que existe una amplia bibliografía (véase Anderson et al. 1972), no ha sido nunca un precipitado original a partir de un cuerpo de agua sedimentario.

Otra cuestión, no obstante, es el posible carácter diagenético temprano, y a poca profundidad de enterramiento, de la transformación yeso → anhidrita en tales litofacies laminadas. En este sentido, nuestras observaciones en las láminas del Triásico sugieren que tal transformación se dio, en parte, antes de la litificación del carbonato, pues algunos horizontes delgados de prismas elongados desarrollados en el seno de las láminas carbonatadas se presentan perfectamente alineados con la estratificación y sin dar muestras de rotura. A este respecto cabe recordar que fue precisamente el frecuente comportamiento fluidal de las litofacies carbonata-do-anhidriticas el principal argumento que llevó a Riley y Byrne (1961) a concebir el origen primario de la anhidrita.

Además de nuestro ejemplo del Triásico (véase Apéndice), otros trabajos que citan láminas anhidriticas, como el de Nurmi y Friedman (1977) refieren el doble hábito de la misma: prismático-elongado en las láminas de carbonato y más o menos equigranular en las de anhidrita. En nuestra opinión, este hecho refleja tan sólo las particularidades de la anhidritización: sobre la lámina yesífera el desarrollo masivo de la anhidrita produce cristales equidimensionales mientras que sobre las láminas de carbonato se produce un ligero reemplazamiento (detalle éste no expresado en la fig. 4b) a favor de una cierta cantidad de sulfato cálcico que se removiliza en el fluido de deshidratación. Tal reemplazamiento ocurre en general como pequeños cristales tabulares (de sección prismático-elongada), relativamente individualizados (fig. 29). Los diferentes grados de litificación del carbonato en las láminas permiten una mayor o menor reorientación de los mismos con la compactación. Creemos que tales cristales tabulares sobre el carbonato no pueden ser láminas de exfoliación, sino individuos cristalinos de tal hábito original.

En otros ejemplos estudiados por nosotros (anhidrita laminada de techo de Pamplona, anhidrita laminada de Mulhouse, Alsacia), sin embargo, a una ausencia total de pseudomorfo se asocia la presencia de fábricas prismáticas desorientadas de tamaño cristalino muy homogéneo, de tal modo que un origen primario de esta anhidrita parece más defendible. Sin embargo, faltan en estos casos criterios sedimentológicos seguros para ello, como sería el encontrar *graded bedding* en los cristales de anhidrita, o disposición plano paralela, si fuera el caso de una sedimentación a partir de una masa de agua, y lo más probable es que tales fábricas prismáticas sean de reemplazamiento de cristales de yeso, cuya extraordinaria facilidad de precipitación, aún en condiciones altamente metaestables, le lleva a ser la fase sedimentaria original.

#### E) Generalización de los hábitos cristalinos de la anhidrita presentes en las rocas anhidriticas

Los hábitos principales de anhidrita que hemos distinguido en este trabajo son los observables, en realidad, en la anhidrita que acompaña a otras litologías. Así, Shearman (1971, págs. 31 y 32) numera tres hábitos en la anhidrita de reemplazamiento sobre carbonatos: cuadrado-rectangular (*blocky rectangular*), prismático-elongado (*elongate rectangular*) y lenticular. Murray (1964) insiste en la tendencia rectangular del hábito de la anhidrita de reemplazamiento sobre formaciones carbonatadas.

Igualmente, las numerosas observaciones realizadas por los presentes autores en anhidritas que acompañan a minerales de mayor solubilidad (halita, polihalita, glauberita) indican la dominancia de dos hábitos:

- 1) cuando la anhidrita acompaña o se presenta como inclusión de la halita, es cuadrado-rectangular, con tamaño francamente mayor (hasta 1-2 mm) que en las áreas totalmente anhidriticas. Tales cristales pueden ser idiomórficos o bien mostrar signos de corrosión por la halita (o por el mineral encajante de mayor solubilidad en cuestión). Fig. 30.
- 2) Cuando la anhidrita forma películas entre los cristales de mayor solubilidad, se presenta como cristales y agregados prismático-elongados (tabulares) de pequeño tamaño que se proyectan contra aquellos. En el caso de cristales de halita, la morfología de tales paredes o tabiques anhidriticos es en todo similar a la de las películas interhaliticas constituidas por polihalita, y suele responder a crecimientos de sulfatos posteriores en el tiempo a la halita. Detalles de tales generaciones tabulares pueden verse en Pueyo et al. (1974) y Ortí Cabo y Pueyo Mur (1980).

#### APÉNDICE

##### I. - Fábricas cristalinas de la anhidrita del Mioceno continental de la Cuenca del Tajo

El sector central de la Cuenca del Tajo presenta una importante sedimentación evaporítica a lo largo de su historia evolutiva durante el Terciario, caracterizada por la deposición de sales sódicas y calco-sódicas (Ortí Cabo et al. 1979; García del Cura et al. 1979). Los sondeos cortan en profundidad alternancias de capas de halita, anhidrita, glauberita y polihalita (Ortí Cabo y Pueyo Mur, 1980), con proporciones variables de magnesita y arcillas. Existen niveles de

Sondeo 47 Prof. (ms)	Prof. (m)	FABRICAS CRISTALINAS				
		Granular		Pfb. ( $\mu$ ) (1)	Prismá- tica ( $\mu$ ) (2)	Mx. (3)
		<60 $\mu$	>60 $\mu$			
107,5	2	40			250-500	
108,6	2	50-60				
108,6 <sub>2</sub>	1		400			
110	1	30				
124,5	1	25-30				
131,2	1	25				*
136,8	1		150-200			
181,2	1		150			
186	1		300-450			
194,2	1	35-40				
215	2	30				
222,7	2	30				
224,2	1	40-50			120	
228	1		90-120			
230	1		300			
239	1		350			
244	1		300			
Mira nº mst.						
10330	2	20-30		350		
10329	4	35-50				
1	2	25				
12960	1	25				
10408	1	25			*	
9	1	20		400		
4455(1)	1	30				
4753	1	25				
17	1	40				
20	1	40				
10409	1		80			

Fig. 34. Petrografía de la anhidrita del Mioceno continental de la cuenca del Tajo:

(1): Pfb.: fábricas porfiroblásticas de hábitos equidimensionales: con matriz microcristalina y con algunos cristales cuadrado-rectangulares similares a los de mayor tamaño de las fábricas granulares.  
 (2): estas fábricas hacen tránsitos completos a fábricas granulares.  
 (3): Mx.: fábricas mixtas de matriz microgranular y componentes fibroso-radiados milimétricos.

Total muestras seleccionadas: 27. Total preparaciones microscópicas estudiadas: 37.

thenardita próximos a superficie.

Se han estudiado 37 preparaciones, correspondientes a un total de 27 muestras de anhidrita, algunas de ellas de la Mina de El Castellar (Villarrubia de Santiago, Toledo) y el resto de diferentes profundidades del sondeo 47 (fig. 34), situado a pocos kilómetros de la mina. La litofacies de la anhidrita es nodular en general, aunque las capas en ocasiones son bandeado-nodulosas o noduloso-masivas. Está generalizada la ausencia de pseudomorfos de yeso en esta litofacies nodular.

Las fábricas granulares son las dominantes. Se trata de cristales de hábitos cuadrado-rectangulares, bastante homométricos, en general desorientados y más o menos interpenetrados. El tamaño promedio más frecuente es de 25-30  $\mu$ , aunque otro numeroso grupo de fábricas muestra promedios variables entre 150 y 400  $\mu$ . Sin embargo, en algunas preparaciones se observan tránsitos perfectos entre hábitos granulares y prismático-elongados, ya sea desorientados o alineados entre sí, o tangencialmente a los bordes de los nódulos.

Se presentan algunas fábricas del tipo porfiroblástico, con cristales cuadrado-rectangulares (350-400  $\mu$ ), en ocasiones de contorno lanceolado, dispersos

entre matriz equidimensional de 20-30  $\mu$  de promedio. En otros casos la presencia ocasional de grandes cristales de entre 250  $\mu$  y 1-2 mm corroidos o fracturados en el seno de la matriz, o sobre el sedimento encajante, sugiere que ha habido diferentes etapas de cristalización anhidritica.

Sólo en un caso se ha observado el desarrollo de fábricas mixtas a base de matriz junto con desarrollos fibroso-radiados del orden milimétrico. Estos últimos parecen localmente corroidos por masas de matriz microgranular (25  $\mu$ ), pero en todo caso ambos hábitos representan generaciones que están claramente afectadas y reorientadas por la compactación.

En las preparaciones con halita, la anhidrita presente en el seno de este mineral suele ser de tamaño doble o triple que en la masa propiamente anhidritica.

**Interpretación.** La fábrica granular dominante presenta todas las características de la *pile of bricks* de Brown (1931). Tal fábrica difícilmente puede provenir de la rotura completa de prismas elongados, en el sentido de *pile of bricks* de Shearman y Fuller (1969), debido a la homometría y desorientación cristalina en cada preparación. Pensamos que estos hábitos cristalinos granulares son de crecimiento original en toda la gama de tamaños registrados y que la compactación sólo los reorienta ligeramente en determinadas ocasiones. Sin embargo, los pocos ejemplos de tránsito perfecto entre fábricas granulares y prismático-desorientadas o fasciculares hace que no pueda descartarse totalmente la idea genética de rotura.

En función de la interpretación sedimentológica general de estas facies evaporíticas (Ortí Cabo et al., 1979) puede suponerse que se trata de anhidritizaciones de ambiente sabkha (periférica a lago efímero central), es decir, diagenéticas tempranas y con mínimo enterramiento. Interpretamos la presencia de fábricas mixtas porfiroblásticas, así como las mixtas de matriz y agregados radiales, como hechos tempranos de cristalización anhidritica.

## II. Fábricas cristalinas de la anhidrita del «Baix Ebre» (Tarragona)

El estudio se ha realizado sobre 25 muestras (27 preparaciones) de testigos de sondeos del «Baix Ebre» (Tarragona) (Ortí Cabo y Bayó, 1977), y sobre 4 muestras (9 preparaciones) de la anhidrita que aflora en el área próxima de Pont d'Armentera (Muschelkalk medio).

Las litofacies son laminadas, con láminas de anhidrita y de carbonato micrítico alternantes y de pocos mms de espesor, aunque ocasionalmente se presentan litofacies nodulares en la anhidrita. Es frecuente la brechificación y crenulación de las litofacies, así como la foliación de las microestructuras, debido a la deformación tectónica. Sin embargo, estos hechos no enmascaran seriamente el carácter de las fábricas originales.

La fábrica de las láminas anhidriticas es (fig. 35) predominantemente granular, con individuos siempre muy interpenetrados y en ocasiones algo elongados por la foliación, mientras que la de la anhidrita presente en las láminas carbonatadas es prismático-elongada. En las láminas donde el carácter carbonatado pasa gradualmente a anhidritico, la gradación de las fábricas es igualmente patente.

En las litofacies laminadas abundan los pseudomorfos de anhidrita según yeso precursor, tanto en el interior de las láminas de carbonato como en el contacto lamina carbonatada-lamina anhidritica. Tales pseudomorfos están reemplazados por fábricas granulares de anhidrita.

Además de granulares, las fábricas de las láminas de anhidrita son ligeramente heterométricas, siendo la distribución de tamaños dentro de las láminas (o en los pseudomorfos) algo irregular, aunque los cristales mayores suelen desarrollarse hacia la zona central de las mismas.

En los nódulos, la fábrica anhidritica es también granular, aunque los tamaños cristalinos suelen ser mayores.

En las láminas carbonatadas la presencia de anhidrita prismático-elongada es muy irregular y el tamaño variable según las láminas. Los prismas se presentan dispersos entre el carbonato, y desde totalmente desorientados hasta

Profundidad (ms)	Prep. nº	FABRICAS CRISTALINAS			Pseudom. yeso
		Granular <60µ (1)	Bimodal (mms)	Prismática (µ) (2)	
<b>Sond. 7R</b>					
38,5	2	20-50			
49,50	1	40-80			
70,60	1	20-50			
89,95	1	20-100			*
90,68	1	70-100	0,2-1,4		
96,27	1	1 mm			
124,1	2	40-80		40-80	
<b>Sond. 6S</b>					
60	1	30		100	
72	1	20-50			
133,5	1	20-30	0,8		*
142,20	1	20-40	0,1-2,8		*
142,30	1	30-80		150-200	
147,9	1	40-50	0,1		*
150,10	1	50-70		80	
154,3	1	50		300-600	
<b>Sond. 2E</b>					
28,35	1	30-50	0,25-0,3		
41,80	1	60-80		100-150	*
42,90	1	50-60		100-120	*
54,27	1	50-80			*
67,85	1	20-50			*
73,90	1	20-50			
78,30	1	20-40			
94,45	1	50-100	0,4-2		
95,20	1	20-40			
108	1	20-50			

Fig. 35. Petrografía de la anhidrita triásica de los sondeos del Baix Ebre, Tarragona:

(1): estas fábricas granulares pueden ser más o menos heterométricas, con tendencias bimodales.

(2): hábitos de los cristales de anhidrita implantados sobre las láminas carbonatadas que acompañan en algunas preparaciones a las láminas anhidriticas. Total muestras seleccionadas: 25. Total preparaciones microscópicas estudiadas: 27.

perfectamente alineados, y ya sea intactos o bien sensiblemente fracturados.

Finalmente, es frecuente la presencia en las fábricas anhidriticas granulares de cristales de mayor tamaño (desde 100 µ a 3 mm) aislados o en grupos, y de hábito cuadrado-rectangular u ocasionalmente con cierta tendencia a agregados en abanico. En la fig. 35 se ha distinguido estas fábricas granulares mixtas como porfiroblásticas.

**Interpretación.** Sobre un sedimento laminado de yeso-carbonato micrítico se ha producido la anhidritización. Las láminas de yeso y los pseudomorfo son reemplazados por anhidrita granular, mientras que sobre el carbonato se desarrolla una generación anhidritica de hábito prismático-elongado. El hábito granular puede ser el original de la anhidrita, aunque el tránsito frecuente de fábricas granulares a prismáticas (fig. 35) sugiere que, al menos en parte, aquellas han podido producirse por una rotura progresiva de estas últimas. La perfecta individualización de cristales anhidriticos prismático-elongados en el seno del carbonato, en muchas láminas carbonatadas, indica que tal hábito es a su vez original, y que no debe tratarse de láminas de exfoliación de cristales mayores. El alineamiento perfecto de los prismas

anhidriticos en ciertas láminas carbonatadas, sin efecto de rotura aparente, sugiere que dicha orientación es pretectónica y anterior a la litificación del carbonato.

La anhidritización parece ocurrir sin una introducción neta importante de sulfato cálcico en la roca, pues las litofacies laminadas están perfectamente conservadas. La anhidrita prismática desarrollada en las láminas carbonatadas puede proceder de una cierta redistribución de sulfato cálcico en la roca ocurrida durante la propia anhidritización del yeso. Todo ello, junto con la ausencia de estructuras de emersión ni de ambiente sabkha, nos hace pensar que la anhidritización ha ocurrido, al menos en parte, en la subsidencia y a una cierta profundidad de enterramiento, pero antes de la litificación total del carbonato.

La presencia de fábricas granulares de tendencia bimodal, incluso porfiroblástica, sugiere más de un estadio de anhidritización, sin variar por ello el hábito general en las láminas anhidriticas, que es predominantemente equidimensional.

### III. Fábricas cristalinas de la anhidrita de la Cuenca Potásica de Navarra (Eoceno superior)

En la cuenca potásica de Navarra, al igual que en la catalana, la base de la secuencia salina la constituye una capa de anhidrita que se intercala entre las margas marinas

Lito-facies	Prep. nº	FABRICAS CRISTALINAS (1)			Lito-facies
		Prismático-alineada mín. máx.	Fribroso-radiada mín. máx.	Micro-granular	
<b>Pamplona, Anh. basal</b>					
S3	4		20x100 80x1mm	10-15	B-N
S5B	5	10x50 35x350		10-15	L
S5M	4	8x60 125x500		10-15	L
S5T	3	8x60 65x300		15-20	L
GG4	2		180x1,6mm	10-20	N
GG5	2	15x120 60x750		15	L
<b>Javier, Anh. basal</b>					
570(J3)	2	20x240 100x1mm		25	L
560(UL)	3	15x130 100x1mm		15-25,60	L
Fascicular					
mín. máx.					
<b>Sondeo 21, Anh. basal</b>					
982	1	15-120	120-1,5mm	15	B-N
983	1	15-120	50-900	15	B-N
Prism.-desorientada Prism.-alineada					
<b>Pamplona, Anh. techo</b>					
20	2	25x400			C
22	1	25x400			C
23	1	25x500			C
24	2	20x450			C
3X	1	30x500			C
329	1		20x300		E
<b>Javier, Anh. techo</b>					
333(J3)	1	25x300			C
361(J3)	1	35x500			C

Fig. 36. Petrografía de las anhidritas basales y de techo de la cuenca potásica navarra (Eoceno superior):

(1): tamaño en micras, salvo indicación expresa en milímetros; mín.: tamaño promedio mínimo; máx.: tamaño promedio máximo.

Litofacies: L: laminada; N: nodular; B-N: bandeada-nodular; C: en capas plano-paralelas; E: nodular enterolítica.

Total muestras seleccionadas: 18. Total preparaciones microscópicas estudiadas: 37.

y la sal de muro. Además, se hallan también niveles de anhídrita entre las sales y margas de techo.

Las muestras estudiadas, en un total de 18, de las que se han realizado 37 láminas delgadas, corresponden al yacimiento potásico próximo a Pamplona, y a sondeos realizados en la zona correspondiente a dicho yacimiento y en la zona de Javier (a 45 km de Pamplona).

La anhídrita basal constituye una capa de presencia muy constante, con una potencia de 1 m aproximadamente. Presenta principalmente litofacias laminadas, de aspecto estromatolítico, en las que alternan bandas carbonatadas y anhídriticas de grosor milimétrico. Con menor frecuencia se observan también litofacias nodulares, así como tipos intermedios entre los dos citados. En todas las litofacias se hallan abundantes pseudomorfs de yeso y halita. Las anhídritas de techo se presentan formando capas planas, de 2-3 cm de grosor, en las que la anhídrita se asocia a dolomita, y también formando niveles esterolíticos de hasta varios decímetros de espesor (fig. 36).

La fábrica cristalina más característica de las anhídritas basales es de tipo prismático-alineado, con los prismas dispuestos en forma ondulada, y corresponde a la litofacia laminada. Rosell Ortiz y Orti Cabo (1980) denominan a esta fábrica «prismático-crenelada». El tamaño de los prismas es variable y oscila entre 50 y 750  $\mu$  de longitud y 10 y 125  $\mu$  de anchura. Frecuentemente puede observarse cómo estos prismas se hallan doblados e incluso fracturados. Entre los cristales prismáticos suelen presentarse zonas de anhídrita microgranular, más o menos extensas, de modo que se trata en general de fábricas de carácter mixto más o menos acentuado. Los tamaños cristalinos promedio de la anhídrita microgranular son de 15  $\mu$ . En algunas ocasiones se observa un tránsito de la disposición ondulada de los prismas a una fábrica desorientada.

Las litofacias nodulares, y las de tipo intermedio, suelen presentar fábricas fibroso-radiadas mixtas, y microgranulares. Los agregados radiales, en general imperfectos, están constituidos por cristales prismáticos que pueden alcanzar hasta 1.5 mm de longitud y suelen presentar en la parte central anhídrita microgranular. Se observa un tránsito a fábricas en las que sobre una matriz anhídritica microgranular se disponen al azar los prismas elongados. Algunas de estas fábricas pueden considerarse fasciculares.

La anhídrita de techo presenta, en las capas planas, fábrica prismática desorientada, y más localmente microgranular, y se asocia a dolomita en general romboédrica y también anhedral. Diferencias en el tamaño de los cristales de dolomita, presencia de dolmicrita, etc., originan una laminación en las capas. En alguna ocasión la dolomita presenta granoclasificación. Estas capas pueden presentar también niveles de halita, más o menos disuelta, asociada a anhídrita y también a dolomita. La anhídrita enterolítica presenta fábricas microgranulares y fluidales.

**Interpretación.** La presencia de abundantes pseudomorfos en las litofacias anhídriticas basales induce a pensar que no constituyen una fase mineral original sino que se han generado por reemplazamiento de yeso y, en menor proporción, halita.

El sedimento original de la capa basal sería una capa laminada yesífero-carbonatada (posiblemente estromatolítica) formada en condiciones de sedimentación submarina, a juzgar por el carácter de los sedimentos entre los que se halla intercalada, así como por la ausencia de indicios de exposición subaérea.

Aunque desconocemos el momento en que se produce la anhídritización, creemos que ésta se lleva a cabo a cierta profundidad y que está condicionada por el enterramiento y quizá también por la circulación de salmueras relacionadas con la deposición de la secuencia salina clorurada suprayacente.

La fábrica prismático-crenelada se produciría como resultado de una adaptación progresiva de los prismas a la morfología original del depósito (reabsorción volumétrica) y a favor de sobrepresión generada en el fluido de deshidratación cuyo drenaje libre es obstaculizado por el carácter relativamente impermeable de los sedimentos entre los que se intercala la anhídrita (halita a techo, margas en la base).

Las litofacias nodulares basales se desarrollan sobre los horizontes detríticos, no cementados, de los niveles turbidíticos de las margas de Pamplona y podrían representar la fijación de una cierta cantidad neta de sulfato cálcico a expensas de las salmueras intersticiales de circulación.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, R. Y. y KIRKLAND, D. W., 1966: «Intrabasin varve correlation.» *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 77: 241-255.
- ANDERSON, R. Y., DEAN, W. E., KIRKLAND, D. W. y SNIDER, H. I., 1972: «Permian Castile varved evaporite sequence, West Texas and New Mexico.» *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83: 59-86.
- ARAKEL, A. V., 1980: «Genesis and diagenesis of Holocene evaporitic sediments in Hutt and Leeman lagoons, Western Australia.» *Jour. Sedim. Petrol.*, 50, 4:1305-1326.
- BEBOUT, D. G. y MAIKLEM, W. R., 1973: «Ancient anhydrite facies and environments, Middle Devonian Elk Point Basin, Alberta.» *Bull. Canad. Petrol. Geology*, 21, 3: 287-343.
- BEYTH, M., 1980: «Recent evolution and present stage of Dead Sea brines.» In: Nissenbaum, A. (ed.) *Hypersaline brines and evaporitic environments*, Developments in Sedimentology, 28:155-166.
- BORCHERT, H. y MUIR, R. O., 1964: *Salt Deposits. The Origin, Metamorphism and Deformation of Evaporites*. The University Series in Geology, Van Nostrand Co. London, 338 p.
- BOUROUILLEC, J., 1979: «Étude séquentielle du toit de la série évaporitique du Lias Inférieur dans un puits du bassin aquitain (Auch I), France du Sud-ouest.» In: *Dépôts évaporitiques. Illustration et interprétation de quelques séquences*. Éditions Technip, 29-31.
- BRAITSCHE, O., 1971: «Salt Deposits. Their Origin and Composition»., Springer-Verlag, 297 p.
- BROWN, L., 1931: «Cap-rock petrography.» *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geology*, 15:509-529.
- BUNDY, W. M., 1956: «Petrology of gypsum-anhydrite deposits in Southwestern Indiana.» *Journ. Sedim. Petrology*, 26, 3:240-252.
- BUSH, P., 1973: «Some aspects of the diagenetic history of the sabkha in Abu Dhabi, Persian Gulf.» In: Purser, B. H. (ed.) *The Persian Gulf*, Springer-Verlag, 395-407.
- BUTLER, G. P., 1969: «Secondary anhydrite from a sabkha, Northwest Gulf of California, Mexico.» In: Rau, J. I. y Dellwig, L. F. (eds.) *Proc. 3rd Symp. on Salt* (Cleveland, Ohio: Northern Ohio Geological Society, 1970), 1:120-152.
- CAROZZI, A. V., 1960: «Microscopic Sedimentary Petrography.» John Wiley and Sons, Inc. New York, London, 485 p.
- CONLEY, R. F. y BUNDY, W. M., 1958: «Mechanism of gypsification.» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 15:57-72.
- CONRAD, G., 1975: «Modèles de sédimentation évaporitique continentale, actuelle, en zone aride Nord-saharienne (Algérie): comparaison avec le Quaternaire.» *IX Congreso Internacional de Sedimentología*, tema 2, 29-38, Niza, 1975.
- CUFF, C., 1969: «Lattice disorder in Recent Anhydrite and its geological implications.» *Proc. Geol. Soc. London*, 1659:326-330.
- CUSSEY, R., 1979: «Anhydrite diagenétique de sebkha carbonatée dans le Tertiaire d'Irak.» In: *Dépôts évaporitiques. Illustration et interprétation de quelques séquences*, Éditions Technip, 51-56.
- DAVIES, G. R., 1977: «Carbonate-anhydrite facies relationships, Otto Fiord Formation (Mississippian-Pennsylvanian), Canadian Arctic Archipelago.» In: Fisher, J. M. (ed.) *Reefs and evaporites. Concepts and depositional models*, AAPG, Studies in Geology, n.º 5, 145-167.
- DEAN, W. E., DAVIES, G. R. y ANDERSON, R. Y., 1975: «Sedimentological significance of nodular and laminated anhydrite.» *Geology*, July 1975: 367-372.
- DUNHAM, K. C., 1948: «A contribution to the petrology of the Permian evaporite deposits of North-Eastern England.» *Proceed. Geol. Soc. Yorkshire*, 27:217-227.
- EUGSTER, H. P. y HARDIE, L. A., 1978: «Saline Lakes.» In: Lerman, A. (ed.) *Physics and chemistry of lakes*, Springer-Verlag, Berlin: 237-293.
- FRIEDMAN, G. M., 1973: «Petrographic data and comments on the depositional environment of the Miocene sulfates and dolomites at sites 124, 132 and 134, Western Mediterranean Sea.» In: Kaneps, A. G. (ed.) *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 13, part 2, National Science Foundation, January 1972:695-708.
- FORGOTSON, J. M., Jr., 1956: «A correlation and regional stratigraphic analysis of the formation of the Trinity Group of the Comanchean Cretaceous of the Gulf Coastal Plain and the genesis and petrography of the Ferry Lake Anhydrite.» Tesis inédita, Northwestern University, U.S.A.
- GARCÍA DEL CURA, A., ORDÓÑEZ, S. y LÓPEZ-AGUAYO, F., 1979: «Estudio petrológico de la «Unidad Salina» de la Cuenca del Tajo.» *Estudios geol.*, 35:325-339.
- GAVISH, E., 1980: «Recent sabkhas marginal to the Southern coasts of Sinai,

- Red Sea.» In: Nissenbaum, A. (ed.) *Hypersaline brines and evaporitic environments*, Developments in sedimentology, 28: 233-251.
- GOODMAN, N. R., 1952: «Gypsum and anhydrite in Nova Scotia.» *Dept. Min. Mem.*, 1: 1-75.
- GOLDMAN, M. I., 1952: «Deformation, metamorphism and mineralization in gypsum-anhydrite caprock, Sulphur Salt Dome, Louisiana.» *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 50: 1-169.
- GUILLEVIN, Y., 1979: «Éléments de pétrographie des évaporites oligocènes des bassins de la Bresse et de Valence (Est de la France, Vallée de la Saône et du Rhône).» In: *Dépôts évaporitiques. Illustration et interprétation de quelques séquences*, Éditions Technip: 41-48.
- HARDIE, L. A., 1967: «The gypsum-anhydrite equilibrium at one atmosphere pressure.» *The American Mineralogist*, 52: 171-200.
- HOLLIDAY, D. W., 1968: «Early diagenesis in Middle Carboniferous nodular anhydrite of Spitsbergen.» *Proc. Yorks. Geol. Soc.*, 36: 277-292.
- HOLLIDAY, D. W., 1980: «The petrology of secondary gypsum rocks: a review.» *Jour. Sedim. Petrol.*, 40, 2: 734-744.
- HOLLIDAY, D. W., 1973: «Early diagenesis in nodular anhydrite rocks.» *Inst. Mining, Metallurgy Trans.*, Sect. B: 81-84.
- HŪSŪ, K. J., y SCHREIBER, B. C., 1973: «Petrography of a halite sample from hole 134, Balearic Abyssal Plain.» In: Kaneps, A. G. (ed.) *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, 13, part 2, National Science Foundation, January 1972: 708-711.
- JONES, C. L., 1965: «Petrography of evaporites from the Wellington Formation near Hutchinson, Kansas.» *Geol. Survey Bull.*, 1201-A, U.S.A., 1-70.
- KENDALL, A. C., 1975: «Anhydrite replacements of gypsum (satin-spar) veins in the Mississippian Caprocks of Southeastern Saskatchewan.» *Can. Jour. Earth Sciences*, 12, 7: 1190-1195.
- KENT, D. M., 1968: «The geology of the Upper Devonian Saskatchewan Group and equivalent rocks in western Saskatchewan and adjacent areas.» *Saskatchewan Dept. Min. Res. Rept.*, 99: 1-224.
- KERR, S. D. y THOMSON, A., 1963: «Origin of nodular and bedded anhydrite in Permian Shelf sediments, Texas and New Mexico.» *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 47, 9: 1726-1732.
- KINSMAN, D. J. J., 1966: «Gypsum and anhydrite of Recent age, Trucial Coast, Persian Gulf.» *Second. Symposium on Salt*, Northern Ohio Geol. Soc. Cleveland, 1: 302-326.
- MAIKLEM, W. R., BEBOUT, D. G. y GLAISTER, R. P., 1969: «Classification of anhydrite. A practical approach.» *Bull. of Canad. Petrol. Geology*, 17, 2: 194-233.
- MOSSOP, G. D., 1973: *Anhydrite-carbonate cycles of the Ordovician Baumann Fiord Formation, Ellesmere Island, Arctic Canada: a geological history*. Ph. D. inédito, Imperial College, London.
- MOSSOP, G. D. y SHEARMAN, D. J., 1973: «Origins of secondary gypsum rocks.» *Inst. Mining Metallurgy*, 82, 804: B147-B154.
- MURRAY, R. C., 1964: «Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite.» *Jour. Sedim. Petrol.*, 34, 3: 512-523.
- NEEV, D. y EMERY, K., 1967: «The Dead Sea: depositional processes and environments of evaporites.» *Bull. Geol. Surv. of Israel*, 41: 147 p.
- NURMI, R. D. y FRIEDMAN, G. M., 1977: «Sedimentology and depositional environments of basin-center evaporites, Lower Saline Group (Upper Silurian), Michigan Basin.» In: Fisher, J. M. (ed.) *Reefs and evaporites. Concepts and depositional models*, AAPG, Studies in Geology n.º 5: 23-53.
- OGNIBEN, L., 1957: «Petrografia della serie solifera siciliana e considerazioni relative.» *Mem. Descrit. Carta Geol. Italia*, 33: 1-275.
- ORTI CABO, F., 1977: «Aproximación al estudio petrográfico de las microestructuras de las rocas de yeso secundario y a su origen.» *Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona*, 32: 87-152.
- ORTI CABO, F. y BAYO, A., 1977: «Características litoestratigráficas del Triásico Medio y Superior en el «Baix Ebre» (Tarragona-España).» *Cuadernos de Geología Ibérica*, 4: 223-238, Madrid.
- ORTI CABO, F. y PALOU, P., 1977: «Yesos de Odena.» In: Salas, R. (ed.) / *Seminario Práctico de Asociaciones Arrecifales-Evaporíticas*, Barcelona 3-8 octubre 1977, Dpto. Petrología, Universidad de Barcelona: 3: 29-3.39.
- ORTI CABO, F. y PUEYO, J. J., 1977: «Asociación halita bandeada-anhidrita nodular del yacimiento de Remolinos, Zaragoza (sector central de la Cuenca del Ebro). Nota petrogenética.» *Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona*, 32: 167-202.
- ORTI CABO, F. y PUEYO MUR, J. J., 1980: «Polihalita diagenética en una secuencia evaporítica continental (Mioceno, Cuenca del Tajo, España).» *Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona*, 34 (209-22).
- ORTI CABO, F., PUEYO, J. J. y SAN MIGUEL, A., 1979: «Petrogénesis del yacimiento de sales sódicas de Villarrubia de Santiago, Toledo (Terciario continental de la Cuenca del Tajo).» *Bol. Geol. y Minero*, 94: 347-373.
- PETTIJOHN, F. J., 1975: «Sedimentary rocks. Harper y Row, Pub., 628 p.
- PUEYO MUR, J. J., VAQUER NAVARRO, R. y TRAVERIA CROS, A., 1974: «Distribución de sulfatos en los yacimientos de la Cuenca Potásica Catalana.» *Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona*, 29: 51-65.
- PURSER, B., 1980: «Les paléosabkhas du Miocène Inférieur dans le Sud-Est de l'Iran.» *Bull. Cent. Recher. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine* 4, 1: 235-244.
- RILEY, CH. M. y BYRNE, J. V., 1961: «Genesis of primary structures in anhydrite.» *Jour. Sedim. Petrol.*, 31, 4: 558-559.
- ROONEY, L. F. y FRECH, R. R., 1968: «Allogenic quartz and the origin of penemosaic texture in evaporites of the Detroit River Formation (Middle Devonian) in Northern Indiana.» *Jour. Sedim. Petrol.*, 38, 3: 755-765.
- ROSELL ORTIZ, L. y ORTI CABO, F., 1980: «Presencia de analcima y observaciones diagenéticas en la anhidrita basal de la cuenca potásica navarra (Eoceno sup., Cuenca del Ebro, España).» *Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona*, 34 (113-235).
- SCHALLER, W. T. y HENDERSON, E. P., 1932: «Mineralogy of drill cores from the potash field of New Mexico and Texas.» *Bull. Geol. Survey, U.S.A.*, 83: 1-124.
- SCHREIBER, B. C. y KINSMAN, D. J. J., 1975: «New observations on the Pleistocene evaporites of Montallegro, Sicily, and a modern analog.» *Jour. Sedim. Petrol.*, 45: 469-479.
- SCHWERDTNER, W. M., 1970: «Lattice-orienting mechanisms in schistose anhydrite.» In: Paulitsch, P. (ed.) *Experimental and natural rock deformation*, Springer: 142-164.
- SHEARMAN, D. J., 1966: «Origin of marine evaporites by diagenesis.» *Inst. Miner. Metall.*, Section B, 75: 208-215.
- SHEARMAN, D. J., 1970: «Recent halite rock, Baja California, México.» *Inst. Mining, Metall. Trans.*, Section B, 79: 155-162.
- SHEARMAN, D. J., 1971: «Marine evaporites: the calcium sulfate facies.» *Amer. Soc. Petroleum Geology Seminar*, University of Calgary, Canada, 1-65.
- SHEARMAN, D. J., 1978: «Evaporites of coastal sabkhas.» In: Dean, W. E. y Schreiber, B. C. (eds.) *Marine Evaporites*. SEPM Short Course n.º 4, Oklahoma City, 1978: 6-42.
- SHEARMAN, D. J. y FULLER, J. G., 1969: «Anhydrite diagenesis, calcitization, and organic laminites, Winnipegosis Formation, Middle Devonian, Saskatchewan.» *Bull. Canad. Petrol. Geology*, 17, 4: 496-525.
- STEWART, F. H., 1965: «The mineralogy of the British Permian evaporites.» *Mineralog. Mag.*, 34: 460-470.
- WARDLAW, N. C. y SCHWERDTNER, W. M., 1966: «Halite-Anhydrite seasonal layers in the Middle Devonian Prairie Evaporite Formation, Saskatchewan, Canada.» *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 77: 331-342.
- TRUC, G., 1979: «Évaporites d'un bassin continental subsident (Ludien et Stampien de Mormoiron-Pernes, Sud-Est de la France). Aspects séquentiels du dépôt, faciès primaires et leur évolution diagenétique.» In: *Dépôts évaporitiques. Illustration et interprétation de quelques séquences*. Éditions Technip: 61-71.
- WEST, I. M., 1964: «Evaporite diagenesis in the Lower Purbeck beds of Dorset.» *Proc. Yorkshire Geol. Soc.*, 34: 315-330.

Recibido 2 de junio de 1981

# El metamorfismo del sector El Vellón - Pedrezuela (Sistema Central Español)

por M.<sup>a</sup> C. LÓPEZ RAMOS, y M. NAVIDAD

Departamento de Petrología, Universidad Complutense, Madrid.

## RESUMEN

El presente trabajo aborda el estudio metamórfico del sector «El Vellón - Pedrezuela». Mediante la determinación de los diferentes tipos de paragénesis minerales que contienen los materiales que afloran en este sector (metapelitas, metasamitas, anfíbolitas y rocas calcosilicatadas), de sus relaciones interminerales y de sus periodos de blastesis, se establece un metamorfismo regional progresivo de grado medio. Dicho metamorfismo se caracteriza por unas condiciones de 5.25 Kbar y 550 °C para un periodo de interfase variando éstas durante la segunda fase a  $4 \pm 0.5$  Kbar y 600 °C. El gradiente metamórfico aumenta de 26 °C/Km. a  $38^\circ \pm 5$  °C/Km desde el periodo de interfase a la segunda fase hercínica.

## ABSTRACT

This paper studies the progressive regional metamorphism in the «Vellón - Pedrezuela» area. By determination of the mineral paragenesis present in these materials that outcrop in the sector (metapelites, metasamites, amphibolites and calcosilicates rocks) and also by the indeterminal and blastesis-age relations, a progressive medium grade regional metamorphism has been defined. This metamorphism is characterized by 5.25 Kbar, 550 °C conditions in the interphase and  $4 \pm 0.5$  Kbar, 600 °C in the second Hercynian phase. The metamorphic gradient changed from 26 °C/Km to  $38^\circ \pm 5$  °C/Km.

## INTRODUCCIÓN

El área investigada se encuentra localizada en las estribaciones meridionales de la sierra de Guadarrama (Sistema Central Español) correspondiendo al sector oriental de la Hoja de Torrelaguna (M.T.N. 1:50.000 n.º 509). Queda separado del resto de los macizos metamórficos septentrionales por la falla tardihercínica de Guadalix - Redueñas (Parga, 1969) y constituye, por tanto, la prolongación hacia el Sur de las series metamórficas que afloran más al Norte y que se encuentran situadas en la proximidad al meridiano de Somosierra (fig. 1).

Geotectónicamente pertenece a la zona Galaico-Castellana definida por Lotze (1950) y desde el punto de vista metamórfico se sitúa dentro del grado medio.

Los materiales que afloran en este sector están constituidos por metasedimentos preeskidawienses de variada litología (esquistos, cuarcitas, anfíbolitas y rocas calcosilicatadas) y neises glandulares. Tanto unos como otros representan los dos tipos de formaciones: «Metasedimentaria» y «Glandular» que en la actualidad se han diferenciado dentro del Sistema Central (Bischoff et al., 1973; Capote et al., 1977).

Los datos aportados en este trabajo indican que las áreas de este sector definidas como de alto grado metamórfico (Aparicio et al., 1975 y López Ruíz et al., 1975) corresponden al grado medio. Asimismo se pone por primera vez en evidencia la existencia de distena así como la ausencia de feldespatos potásicos ligado al proceso metamórfico regional.

## CARACTERES ESTRATIGRAFICOS Y TECTONICOS

### *Estratigrafía*

Bajo los recubrimientos terciarios y en neta discordancia con el Cretácico Inferior (Füster y Febrel, 1959) afloran metasedimentos preeskidawienses y ortoneises de edad incierta. Dichos materiales se encuentran a su vez intruidos por la granodiorita de El Molar y por el amplio cortejo filoniano del que se acompaña.

Desde el punto de vista estratigráfico, los materiales metasedimentarios que afloran de E a W (fig. 2) constituyen una serie caracterizada por un tramo superior de tipo fundamentalmente pelítico que va variando progresivamente a lo largo de la serie hacia tipos más samíticos. El tramo inferior de la serie se caracteriza por la presencia de esporádicos niveles anfíbolíticos y calcosilicatados.

Intercalados en diferentes tramos de esta serie (fig. 2) se encuentran dos conjuntos de neises glandulares que engloban diferentes tipos (glandulares, glandulares feldespáticos y leucocráticos) y que se conocen como neises de «El Vellón» (Navidad, 1979; López Ramos, 1980; López Ramos y Navidad, 1981) y de «Pedrezuela» (López Ramos, 1980; López Ramos y Navidad, 1981).

En conjunto, la serie estratigráfica que aflora de E a W está formada de techo a muro por:

1. - Esquistos micáceos, esquistos samíticos y cuarcitas.
2. - Conjunto neísico de «El Vellón».
3. - Esquistos, esquistos samíticos, cuarcitas variablemente feldespáticas y escasos niveles de anfíbolitas.
4. - Conjunto neísico de «Pedrezuela».
5. - Paragneises, cuarcitas variablemente feldespáticas y escasas cuarcitas anfíbolíticas y rocas calcosilicatadas.