

Mineralogía de las arcillas calcinadas de la base de la Fm. Escucha en el área de Foz-Calanda

A. ALASTUEY *, J. BASTIDA **, J. L. FERNÁNDEZ TURIEL *,
X. QUEROL * y M. SIGNES ***

* Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera", CSIC.

** Departament de Geologia, Universitat de València.

*** AIJU, Ibi, Alicante.

ABSTRACT

Fireclays deposits of mullitic composition in relation to spontaneous firing of the Escucha Fm. subbituminous coal, are common in the Teruel Coal Mining District. The size and the abundance of these mineral deposits are unusual when comparison is made with worldwide coal basins. The present study is focussed on the paragenetic associations of the stratiform fireclay deposit of Valdelapiedra (Foz-Calanda Area, Province of Teruel) located at the bottom of the Escucha Fm. (Middle Albian).

The macroscopic study and the X-ray diffraction analyses have enabled us to differentiate the following lithofacies and mineral paragenesis:

- 1) red-grey slags: mullite + cristobalite \pm tridymite \pm quartz (\pm) hematite (\pm) spinel,
- 2) yellow slags: mullite + tridymite \pm cristobalite \pm cordierite (\pm) hematite,
- 3) black slags: hematite \pm tridymite \pm mullite \pm cristobalite \pm hercynite,
- 4) clay minerals, nodules and weathering minerals: \pm anhydrite \pm alunite \pm halloysite \pm kaolinite \pm illite \pm jarosite.

The calcination of the kaolinitic carbonaceous clay unit to the refractory mullitic deposit, induced by the spontaneous firing of high sulfur subbitumi-

nous coals, after a erosion stage which exposed the coal-bearing deposits of the Escucha Fm. is inferred. If this firing process is assumed, and having in mind the mineral paragenesis, the temperature reached during the transformation had to be lower than 1250 °C and higher than 1050 °C. The calcination time had to be higher than 100 hours if the above mentioned lower temperature is considered. There is not evidences for a precise datation of the coal ignition, however we can assume that it had to occur previously to the deposition of the Quaternary alluvial sediments which mullitic clasts.

Key-Words: Dump mining wastes, coal, mullite, Escucha Fm., Teruel District.

RESUMEN

En el Distrito Minero de carbón de Teruel abundan las arcillas calcinadas de composición mullítica asociadas a fenómenos de autocombustión de capas de carbón subbituminoso de la Fm. Escucha. La frecuencia y el volumen de los yacimientos de estos materiales son, sin duda, excepcionales si los comparamos con los de otras cuencas mineras del carbón. El presente trabajo se centra en el modo de aparición de un cuerpo estratiforme de arcillas calcinadas situado en la base de la Fm. Escucha, en el Barranco de Valdelapiedra (área de Foz-Calanda, junto al embalse de Calanda, Teruel), así como en el estudio macroscópico y el análisis mediante difracción de rayos X, que han puesto de manifiesto las siguientes litofacies y asociaciones minerales:

- 1) Escorias rojas-grises: mullita + cristobalita ± tridimita ± cuarzo (±) hematites (±) espinela.
- 2) Escorias amarillas: mullita + tridimita ± cristobalita ± cordierita (±) hematites.
- 3) Escoria negra: hematites ± tridimita ± mullita ± cristobalita ± hercynita.
- 4) Arcillas, nódulos y productos de alteración: ± anhidrita ± alunita ± halloysita ± caolinita ± illita ± jarosita.

Como hipótesis más plausible para la formación del cuerpo estratiforme de brechas de composición mullítica se sugiere la calcinación de arcillas, fundamentalmente caoliníticas, carbonosas o no, coetánea y epicoetánea a la combustión de carbones subbituminosos con altos contenidos en sulfuros incluidos en la sucesión litológica, subsecuentemente a un periodo erosivo que originara la exposición de los materiales de la Fm. Escucha. Con este mecanismo, y

a la vista de las asociaciones minerales registradas, cabe suponer que la temperatura máxima alcanzada sería necesariamente inferior a 1250 °C y superior a 1050 °C y, caso de considerar la menor temperatura, los periodos de calcinación serían superiores a 100 horas. No se ha podido establecer la edad de dicha ignición, pero en cualquier caso, se puede afirmar que es anterior a los depósitos aluviales cuaternarios, que contienen cantos de composición mullítica.

Palabras clave: Escombrera, carbón, mullita, Fm. Escucha, Teruel (zona minera).

INTRODUCCIÓN

En cuencas mineras de carbones de bajo rango (por tanto con alto contenido en volátiles) y con alto contenido en azufre, la combustión espontánea de los mismos es uno de los principales problemas mineros. Este hecho se debe, esencialmente, a que cuanto mayor es el contenido en materia volátil la temperatura de ignición de un carbón es menor. Según Chandra y Prasad (1990) el punto de ignición de un carbón con un contenido en volátiles similar al de los carbones del sector de Valdelapiedra (45 % volátiles sobre base seca y libre de cenizas) es aproximadamente 130 °C. Cualquier proceso, o conjunto de procesos físico-químicos, que sean capaces de elevar la temperatura hasta el umbral de ignición del carbón y de aportar oxígeno al sistema (p.ej., oxidación de sulfuros), pueden desencadenar la combustión espontánea de la capa carbonosa.

Los procesos de autocombustión pueden tener lugar en diferentes estadios evolutivos de la capa carbonosa:

- a) por incendios de la turba original, procesos descritos en la actualidad en turbas ya enterradas;
- b) por desmantelamiento tardío de la cobertera hasta la exhumación del depósito carbonoso, oxidación y consiguiente combustión.
- c) por combustión de las capas carbonosas en profundidad: c1) bien por circulación de fluidos a través de fallas, o bien, c2) por entrada de oxígeno a través de antiguas galerías mineras. En algunos casos, los cuerpos de mullita se presentan, en el Distrito Minero Turolense, asociados a fallas distensivas, presentando un bloque calcinado y otro con las capas y arcillas carbonosas intactas.

La combustión de la capa carbonosa supone una importante transferencia

térmica, tanto a la materia mineral dispersa como a la encajante, e implica una cierta pérdida de volumen por volatilización de la materia orgánica y parte de la mineral. Debido a que, tanto la materia mineral dispersa en la capa carbonosa, como la encajante, suelen estar constituidas por arcillas, cuarzo, sulfuros y/o carbonatos de hierro, etc., el proceso de la calcinación da lugar a materiales de composición similar a los obtenidos en procesos cerámicos (mullita, espinelas, óxidos de hierro y fases de sílice de alta temperatura, entre otros).

La mullita es una fase constituyente de diversos materiales cerámicos tradicionales (cuerpos cerámicos de diversos tipos de gres, porcelana, sanitarios, refractarios ácidos...), así como de ciertos materiales de alta tecnología (producidos o destinados a alta temperatura). Las principales aplicaciones de las chamotas de composición mullítica son: a) chamotas refractarias y hormigones refractarios, b) materiales filtrantes para separación líquido-líquido, c) árido de trituración para carreteras y balasto, d) catalizadores; aprovechando respectivamente propiedades refractarias, características de superficie, dureza y superficie + composición (Geinaert, 1979).

El hecho de que la mullita sea un mineral relativamente raro en la Naturaleza, pero de alto interés tecnológico como material sintético, así como la frecuencia de aparición de dicho mineral en la zona minera de Teruel, conociéndose descripciones de yacimientos similares únicamente en los yacimientos de antracita de Pennsylvania (Lapham *et al.*, 1980), hacen que los yacimientos de mullita del Distrito Turolense sean el objetivo del presente trabajo, dada sus singulares características. Referencias anteriores a materiales de composición mullítica de esta naturaleza pueden hallarse en López Aguayo *et al.* (1974), Galan y Mirete (1979) y Amigó y Bastida (1984).

CONTEXTO GEOLÓGICO

El área de Valdelapiedra se halla a unos 4 Km al sur de Calanda (Teruel). Geológicamente, se sitúa en el sector norte de la Zona de Enlace entre la Cordillera Ibérica y las Cordilleras Costero-Catalanas, en el extremo NE del Distrito Minero Turolense. En este sector afloran los materiales de la Fm. Escucha (Albiense medio) en un yacimiento alineado WNW-ESE y de 5.2 Km de longitud por 100 a 500 m de ancho.

La Cubeta de Calanda está situada en el sector norte de la Cuenca del Maestrazgo y presenta una extensión reducida, pero con un considerable desarrollo de la Fm. Escucha. El depocentro de la Cubeta se sitúa en Valde-

lapiedra, donde la Fm. Escucha llega a alcanzar los 250 m de potencia. En este sector se produce una fuerte variación de potencias, así, los 250 m de potencia del depocentro se reducen rápidamente hacia el norte, hasta su desaparición en 2.75 Km.

La Fm. Escucha reposa siempre sobre los sedimentos jurásicos en esta zona, llegando a disponerse discordantemente sobre las carniolas y dolomías del Lías basal (base de la secuencia deposicional J1.1). Hacia el sur y sureste de Calanda reposa sobre sedimentos jurásicos cada vez más modernos, llegando a disponerse sobre los “mudstones” litográficos y margas ocre ammoníticas kimmeridgienses.

En el contacto entre la Fm. Escucha y las unidades subyacentes, se encuentran superficies carstificadas, que en el sector norte están representadas por acumulaciones de brechas de relleno cárstico en cavidades de grandes dimensiones (anticlinal de Saso). En el depocentro, las cavidades cársticas son de orden decimétrico, generalmente rellenas por margas pardas y piritas. Finalmente, en el sector este, cabalgamiento de La Cerollera, el contacto, sobre calizas del Dogger, es también una superficie carstificada y ferruginizada.

El límite superior de la Fm. Escucha está constituido por un nivel de concreciones ferruginosas, sobre el que reposan las margas y calizas cenomanienses. Hacia el sur de la Cubeta de Calanda, entre ambas unidades, se intercala la Fm. Arenas de Utrillas (siempre con potencias muy reducidas).

En el área estudiada, la Fm. Escucha está constituida por sedimentos predominantemente lutíticos, con carbones, arenas y algunos niveles calizos. Fuera del depocentro, los niveles de carbón disminuyen drásticamente su potencia, o desaparecen. En la zona central y oeste de Valdelapiedra la Fm. Escucha muestra potencias comprendidas entre 75 y 25 m, en los que se distingue:

a) Un tramo inferior lutítico con intercalaciones carbonosas de hasta 4 m, situadas preferentemente en los 20 m inferiores e intercaladas entre lutitas ricas en ostrácodos, bivalvos y gasterópodos. Se ha de destacar un tramo constante margoso de color verde parduzco, que en toda la zona reposa sobre el substrato jurásico calizo carstificado.

b) Un tramo intermedio (15-35 m) constituido por lutitas e intercalaciones menores de carbón. Los tramos lutíticos se caracterizan por su estratificación de tipo lenticular con frecuentes limolitas carbonatadas nodulares y niveles ricos en charáceas.

c) Un tramo superior (15-20 m) caracterizado por la presencia de secuencias arenosas canaliformes positivas en un contexto lutítico con restos vegetales, algunos niveles con charáceas y tramos versicolores.

EL YACIMIENTO DE ARCILLAS CALCINADAS DE VALDELAPIEDRA

En la base de la Fm. Escucha, y hacia el sector oeste de Valdelapiedra, se distingue un cuerpo de arcillas calcinadas que aflora en superficie 1 Km al NW de la explotación de carbones de Valdelapiedra (desmante Carmen y Pura de SAMCA). El yacimiento en cuestión posee una longitud mínima de 1 Km e incrementa su potencia hacia el depocentro (5.7 a 25 m), aunque no aparece en el mismo. Estos materiales presentan aspecto escoriáceo con coloraciones claras y versicolores, englobando niveles arcillosos y carbonosos grises. La disposición es a grandes rasgos estratiforme, de forma que estos materiales se disponen superior e inferiormente a la posición o posiciones que ocupaban las capas de carbón cuya combustión espontánea produjo la calcinación.

La sucesión reconocible es (Amigó y Bastida, 1984):

Muro: No observable.

1. (2 m) Limolitas grises y pardas, con pasadas blanco-amarillentas, con tránsito lateral a arcillas grises hacia el sur.
2. (0,3 m) Nivel de lignito.
3. (5 m) Nivel de escorias que consta de base a techo de:
 - 3.1. (0,3 m) Capas finas de hematites alternantes con materiales blancos de grano fino.
 - 3.2. (0,7 m) Escorias ferruginosas negras y materiales blancos análogos a los de 3.1.
 - 3.3. (1 m) Escorias rojizas compactas no alveoladas con pasadas de 0,2 m. de escorias negras alveoladas.
 - 3.4. (0,3 m) Escorias negras ferruginosas alveoladas con pasadas de escorias rojizas no alveoladas.
 - 3.5. (1,5 m) Escorias amarillentas más o menos alveoladas.
 - 3.6. (0,5 m) Mullitas rojizas y escorias negras.
 - 3.7. (1,5 m) Mullitas blanco-grisáceas con pasadas de 0,05 a 0,2 m de mullitas rojizas y escorias negras. En la parte superior de este tramo, se presentan impregnaciones de carbonatos.
4. Techo. Piedemonte cuaternario. Cantos predominantemente calcáreos angulosos, de 6 cm de media, eventualmente de escorias o mullitas; matriz arcilloso-limosa marrón.

Esta sucesión estratigráfica, cuya composición corresponde al punto A de la figura 1 en Amigó y Bastida (1984), ha sido objeto de un detallado muestreo con el fin de estudiar las asociaciones minerales presentes.

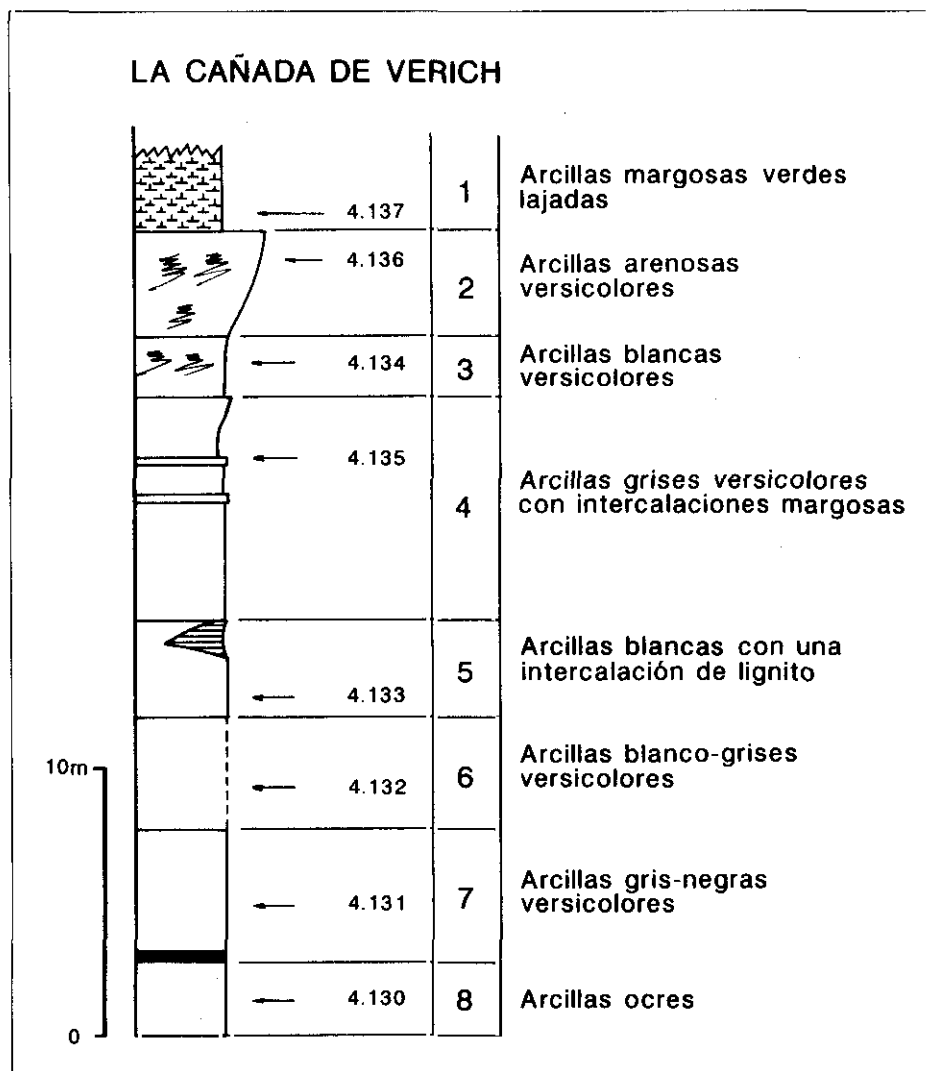


Fig. 1.—Serie estratigráfica de la Fm. Escucha en la Cañada de Verich (Hoja 495, coord. UTM del techo: 30 TBF 43652910). La composición mineralógica de las muestras 4130 a 4137 se expone en la Tabla 2.

Fig. 1.—Stratigraphic series of the Escucha Fm. in the Cañada de Verich area (IGME geological map n. 495, UTM at the top of the serie: 30 TBF 43652910). The mineralogical data of samples 4130 to 4137 are given in Table 2.

ANÁLISIS MINERALÓGICO

1. MÉTODO

Se han efectuado registros difractométricos de material molturado y pasante en su totalidad por un tamiz de 50 μm , utilizando un equipo Siemens D500, con interface Daco-MP, siendo las condiciones de trabajo: 40 KV, 20 mA, barrido a pasos de 0.05 $^{\circ}2\Theta$ entre 2 y 62 $^{\circ}2\Theta$ y tiempo de contaje de 3 segundos. La obtención y tratamiento de los registros se ha efectuado con el software del sistema DIFFRAC.AT, utilizándose los programas EDM y DCM de edición y control, EVA (evaluación de registros) y MAINT (tratamiento de bases de datos).

En los difractogramas obtenidos se han efectuado medidas de FWHM (anchura a media altura) para las reflexiones 110 y 220 de la mullita. Dichos valores se han comparado con los obtenidos por cocción de una arcilla de similar composición a las encontradas en el área de estudio (Tabla 2) a temperaturas entre 1050 y 1150 $^{\circ}\text{C}$, durante tiempos entre 2 y 100 horas (Serrano y Bastida, 1991), véase Tabla 1.

TABLA 1

TEMP. ($^{\circ}\text{C}$)			FWHM 110	FWHM 220
1050	2	horas	0.494	0.456
	50	horas	0.300	0.324
	100	horas	0.290	0.297
1100	2	horas	0.369	0.393
	50	horas	0.247	0.239
1150	2	horas	0.340	0.361
	50	horas	0.220	0.209
	100	horas	0.220	0.209

Medidas de FWHM (anchura a media altura, 2 Theta) para las reflexiones 110 y 220 de mullitas obtenidas por cocción de una arcilla de similar composición a las de la Tabla 2 a temperaturas entre 1050 y 1150 $^{\circ}\text{C}$ durante tiempos de cocción de 2 a 100 horas (Serrano y Bastida, 1991)

2. RESULTADOS

2.1. Materiales no calcinados

Se ha determinado la composición mineralógica de arcillas de la Fm. Escucha en series no afectadas por fenómenos de calcinación. Los resultados muestran que se trata de arcillas esencialmente caoliníticas, si bien, asimismo presentan cantidades apreciables de illita y cuarzo. En pequeñas cantidades se han detectado feldespatos, piritita y siderita (Tabla 2).

TABLA 2

Muestra	Q/f	K	I	Q	Fk	Py	Si
4130	0.02	++					*
1131	0.10	++		+	*		
4132	0.35	++	+		*	*	
4133	0.00	++					*
4134	0.45	++					
4135	0.42	++		+	*	*	
4136	0.40	++	+	+			
4137	1.10	++	+	++			

++, esencial; +, abundante; *, presente.

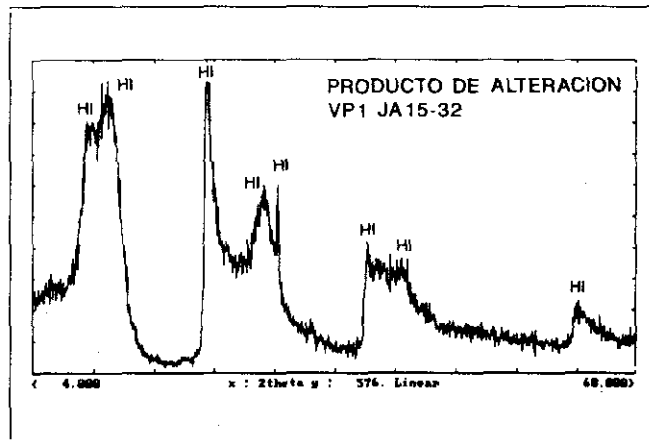
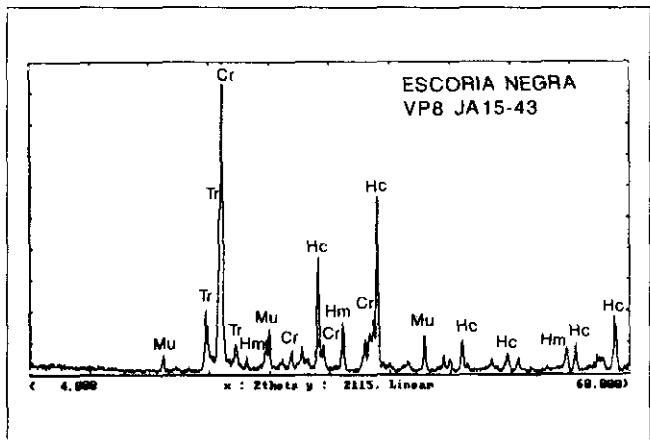
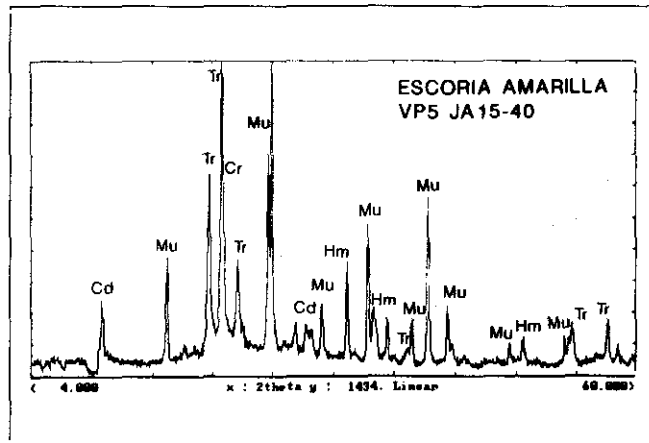
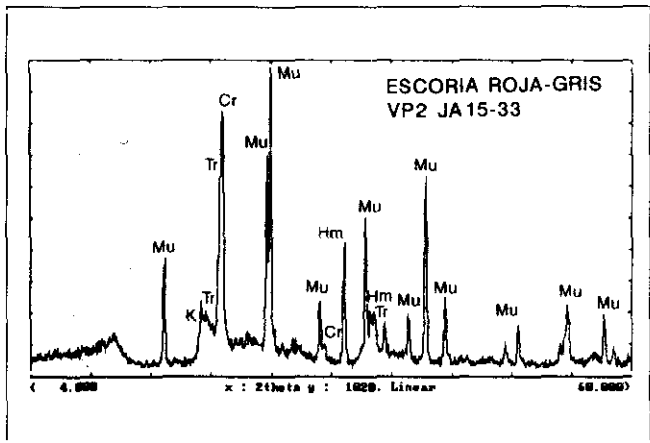
Arcillas no calcinadas de la Serie Estratigráfica de la Cañada de Verich (véase también Fig. 1).

Q/f, cuarzo/filosilicatos; K, caolinita; I, illita; Fd, feldespatos;
Py, piritita; Si, siderita.

2.2. Materiales calcinados

Se han distinguido cuatro litofacias que corresponden a diferentes asociaciones mineralógicas (Tabla 3 y Fig. 2):

- 1) Escorias rojas-grises con aspecto de ladrillo (no estratificadas), mullita + cristobalita \pm tridimita \pm cuarzo (\pm) hematites (\pm) espinela.
- 2) Escorias amarillas con aspecto vítreo y textura alveolar, mullita + tridimita \pm cristobalita \pm cordierita (\pm) hematites.
- 3) Escoria negra con aspecto vítreo y textura alveolar, hematites \pm tridimita \pm mullita \pm cristobalita \pm hercynita.
- 4) Arcillas, escorias blandas, nódulos y productos de alteración, \pm anhidrita \pm alunita \pm halloysita \pm caolinita \pm illita \pm jarosita.



2.3. Cristalinidad de la mullita

Las medidas de FWHM de las reflexiones 110 y 220 de la mullita muestran una gran uniformidad y reflejan unas condiciones de formación similares para todas las muestras estudiadas.

Si se comparan estos resultados con los obtenidos por Serrano y Bastida (1991), parece plausible que la calcinación de las arcillas caoliníticas originales tuviera lugar a temperaturas inferiores a 1050 °C y en tiempos superiores a 100 horas.

CONCLUSIONES

Se han distinguido cuatro tipos de asociaciones minerales correspondientes a cuatro tipos de conjuntos de litofacies. Las tres primeras son referibles a condiciones de alta temperatura, tanto por la naturaleza de los minerales presentes como por las estructuras de los agregados minerales.

Las estructuras vítreas vesiculadas observadas en escorias amarillas y negras (con asociaciones 2 y 3) corresponden a productos de fusión de rocas con variables contenidos en aluminosilicatos. Los fundidos correspondientes a escorias negras (altos contenidos en hematites) pueden referirse al eutéctico a 1088 °C, sistema $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$, de Osborn y Huan (1960).

La asociación 1 de acuerdo con lo expuesto en Amigó y Bastida (1984), se formaría a partir de composiciones originales caolinítico-illíticas a temperaturas superiores a 950 °C. Considerando que en el afloramiento son frecuentes los nódulos de anhidrita, y que de acuerdo a datos de Chinchón *et al.* (1991), el límite superior de estabilidad para dicha fase en condiciones superficiales es de 1050 °C, el análisis de cristalinidad de la mullita hace pensar en procesos de calcinación a temperaturas inferiores o iguales a 1050 °C durante tiempos superiores a 100 horas.

Este proceso de calcinación sería simultáneo a la combustión espontánea de capas de carbón subbituminoso con alto contenido en azufre (del orden del 6.0 %). No se ha establecido, por el momento, si la ignición tuvo lugar con

Fig. 2.—Asociaciones minerales típicas de las litofacies distinguidas. Tr, tridimita; Mu, mullita; Q, cuarzo; Cr, crisobalita; Hm, hematites; Cd, cordierita; Hl, halloysita; K, caolinita.

Fig. 2.—Representative mineral paragenesis of the differentiated lithofacies. Tr, tridymite; Mu, mullite; Q, quartz; Cr, crisobalite; Hm, hematite; Cd, cordierite; Hl, halloysite; K, kaolinite.

TABLA 3

As.	Nivel	Visu	Ref.	Tr	Mu	Q	Cr	Fd	Hm	Cd	Sp	Hc	Ah	Al	Hl	K	It	Af	Jr	
3	3.1	Nódulo blanco	JA15-32(VP-1)			*														
3	3.1	Escoria metálica nodular negra	JA15-42(VP-7)						++											
	3.1	Esc. rosa claro	4-5			+			+		+									
1'	3.2	Escoria negra	JA15-43(VP-8)	+	*		+		+			+								
1'	3.2	Escoria blanca-rojiza-ocre	JA15-33(VP-2)	+	+	*	+		*								(*)		(*)	
1	3.3	Escoria rojiza	82-174			++		++	*		(*)									
1	3.3	Escoria rojo oscuro	JA15-41(VP-6)						++											
	3.4	Escoria negra							++				*							
2	3.5	Escoria amarilla	JA15-40(VP-5)	+	+		*		*	*										
1	3.7	Relleno opalino gris oscuro de cavidades	JA15-34(VP-5)	+	+				*											
	3.7	Escoria gris	4-8			++	+		+											
1		Escoria blanco-grisácea	82-172			+	+	+	+											
		Nódulo blanco	82-171										++							
1'		Escoria blanca + negruzca	JA15-35(VP-4)		+		+							+						(*)
1		Mat.compacto gris	JA15-45(VP-10)			+							*							+
		Esc. blanca hojosa	82-183													+	+			
		Idem. anterior	82-184													+	+			

++, esencial; +, abundante; *, presente; (*), raro.

Composición mineral de las brechas mullíticas de Valdelapiedra. Se exponen además la asociación (As.) mineral en la que se han clasificado, el nivel de la serie estratigráfica al que pertenecen (veáse texto) y la descripción macroscópica (Visu). Tr, tridimita, Mu, mullita; Q, cuarzo; Cr, cristobalita; Fd, feldespatos; Hm, hematites; Cd, cordierita; Sp, espinelas de hierro; Hc, hercynita; Ah, anhidrita; Al, alunita; Hl, halloysita; K, caolinita; It, illita; Af, alofana; Jr, jarosita.

TABLA 4

Muestra	FWHM 110	FWHM 220
82-172	0.245	0.253
82-174	0.237	0.248
4-66	0.267	0.288
JA15-30	0.227	0.248
JA15-40	0.252	0.244
JA15-43	0.237	0.256

Medidas de FWHM (anchura a media altura, 2 Theta) para las reflexiones de 110 y 220 de las mullitas de Valdelapiedra.

anterioridad a la sedimentación conglomerática paleógena (el cuerpo mullítico ha sido detectado mediante sondeos inmediatamente bajo los materiales terciarios), pero en cualquier caso, se puede afirmar que es anterior a los depósitos aluviales cuaternarios de Valdelapiedra, los cuales contienen cantos aluviales de composición mullítica.

La asociación 4 corresponde a materiales no afectados térmicamente (Fernández Nieto *et al.*, 1982) o bien, a productos de alteración formados posteriormente a la ignición. A este último caso corresponden los nódulos de halloysita, que podrían haberse formado a partir de soluciones de aguas percolantes ácidas y ricas en SO_4^- , por un proceso similar al descrito por Callaghan (1948) para depósitos de halloysita en Indiana.

Estos materiales se podrían haber formado al poco tiempo de la ignición, incluso durante el mismo enfriamiento de los materiales afectados térmicamente, o bien con más o menos posterioridad, pudiendo continuar el proceso hasta la actualidad. De cualquier modo la consideración del sistema $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (Noll, 1936; en Levin *et al.*, 1964), para el caso de los nódulos de halloysita, hace pensar en relaciones $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ inferiores a 1/2 y temperaturas necesariamente inferiores a 350 °C (sin presencia de boehmita, sin presencia de pirofilita).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los Proyectos de Investigación de la CICYT PB89-418 y PB87-0463-C02-01.

BIBLIOGRAFÍA

- AMIGÓ, J.M y BASTIDA, J., (1984). Nota sobre materiales mullíticos del Norte de la Provincia de Teruel. *I Congreso Geológico de España*, II: 881-890.
- CALLAGHAN, E., (1948). Eudellita deposits in Gardner Mine Ridge, Lawrence County, Indiana, Indiana Dpt. Conserv., *Geol. Sur. Bull.* 1: 45-66.
- CHANDRA, D. y PRASAD, Y.V.S., (1990). Effect of coalification on spontaneous combustion of coals. *Int. J. Coal Geol.*, 16: 225-229.
- CHAUDUEL, S.P., (1977). Induced mullitization of mullite: a review. *Trans. Brit. J. Ceram. Soc.*, vol. 76, pp. 113-120.
- CHINCHON, J.S., QUEROL, X., FERNÁNDEZ TURIEL, J.L. and LÓPEZ SOLER, A., (1991). Environmental impact of the mineral transformations undergone during coal combustion. *Envir. Geol. Water Sci.*, 18: 11-15.
- EBERHART, J.P., (1963). *Formation of the spinel-type phase in muscovites heated from 1050 °C to 1200 °C*. In: Grim R.E. (1968) *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill Book Company, 596 pp.
- FERNÁNDEZ NIETO, C., CERVERA, A., GONZÁLEZ LÓPEZ, J.M. y PARDO, G., (1982). Presencia de sulfatos aluminicos hidratados en la Fm. Escucha. *Bol. Soc. Esp. de Min.*, 5: 65-74.
- GALÁN, E. y MIRETE, S., (1979). *Introducción a los minerales de España*. IGME. Madrid, 416 pp.
- GEINAERT, G., (1979). Argiles kaolinitiques et leur valorisation. *Ind. Cer.*, 729 (6): 425-431.
- LAPHAM, R., BARNES, J., DOWNEY, W. y FINKELMAN, R., (1980). Mineralogy associated with burning anthracite deposits of Eastern Pennsylvania. *Commonwealth of Eastern Pennsylvania. Min. Res. Report*, 78: 82 pp.
- LEMAITRE, J. y DELMON, B., (1975). Study of the sintering mechanism of kaolinite at 900-1050 °C. *J. Mat. Sci.*, 12: 2056-2064.
- LEVIN, E.M., ROBBINS, C.R. y McMURDIE, H.F., (1964). *Phase diagrams for ceramists*. American Ceramic Society, Columbus, Ohio, 601 pp.
- LÓPEZ-AGUAYO, F., GALÁN, E. y MARTÍN-VIVALDI, J.L., (1974). Occurrence of mullite in the sedimentary Utrillas facies (Teruel, Spain). *Bull. Grou. Fran. Arg.*, 26: 263-275.
- OSBORN, E.F. y HUAN, A., (1960). *Phase equilibrium diagrams of Oxyde Systems*. American Ceramic Society. 456 pp.
- SERRANO, J.M. y BASTIDA J., (1991). Análisis del tamaño de cristalito en premullita de pastas de gres. *III Seminario del Grupo Especializado de Cristalografía*. Sant Feliu de Guixols, 9 pp.

Manuscrito recibido: 16 diciembre 1991.

Revisión aceptada: 5 mayo 1993.