

Estudio de una formación de ilita no alterada

JULIA M.^a GONZALEZ PEÑA
Colaborador Científico del C. S. I. C.

RESUMEN

Se ha estudiado una arcilla procedente de Alhama de Aragón (Zaragoza). Se han empleado las técnicas siguientes: análisis químico, capacidad de cambio de cationes, análisis térmicos ponderal y diferencial, diagramas de difracción de rayos X, espectrografía infrarroja, microscopía electrónica, fusión observada mediante el microscopio de calefacción, análisis mecánico, plasticidad (Riecke), secado a 50°C (diagramas de Bourry) y contracción por calcinación.

La muestra está formada fundamentalmente por ilita muy bien cristalizada. A este mineral acompañan pequeñas cantidades de atapulgita y caolinita e impurezas de cuarzo y moscovita. La muestra natural posee apreciables cantidades de carbonatos, que se acumulan en la fracción gruesa.

Los ensayos técnicos indican que la arcilla es apropiada para conseguir productos cocidos de buena calidad.

SUMMARY

A clay deposit from Alhama de Aragón (Zaragoza) has been studied.

The following techniques have been used: chemical analysis, cation exchange capacity, X-ray diffraction analysis, infrared spectrography, electron microscopy, softening and melting behaviour, mechanical analysis, plasticity, drying shrinkage at 50°C (Bourry's diagram) and firing shrinkage in fired bodies. The sample is mainly formed by illite very well crystallized. The sample also contains small quantities of palygorskite and kaolinite, quartz and muscovite. The natural sample contains carbonates which are accumulated in the coarse fraction.

The technical tests suggest that this natural clay can be used as a good ceramic raw material.

I. Introducción.

Como se sabe, la ilita constituye un término intermedio en la alteración de las micas. De acuerdo con Grim (1) posee una estructura parecida a la de la

montmorillonita, diferenciándose de ella en que el reemplazamiento de aluminio por silicio es mucho mayor, lo que da lugar a una carga más alta sobre la red, siendo el potasio el catión que la compensa. Como consecuencia de estas diferencias estructurales, las capas de ilita no expanden como lo hacen las de la montmorillonita y poseen una dimensión, según el eje *c*, de 10Å aproximadamente. El aluminio es el catión octaédrico dominante, pero también pueden existir el magnesio y el hierro, y el mineral puede ser dioctaédrico o trioctaédrico.

Por otra parte, la ilita difiere de las micas bien cristalizadas, como son la biotita y la muscovita, en que la sustitución de aluminio por silicio es menor; como consecuencia de ello, su red posee menos carga, tiene menos potasio de intercapa y presenta una menor regularidad en el apilamiento.

Roberson y Jonas (2) estudian las posibilidades de expansión de la red íltica; llegan a la conclusión de que la resiste tanto con agua como con etilen-glicol. Los autores observan también que los iones intercapa no son cambiables si no es merced a tratamientos prolongados con soluciones concentradas.

Las transformaciones de la ilita a alta temperatura han sido repetidamente estudiadas. Recientemente, Bohor (3) ha realizado un trabajo sobre este tema. Observa que entre 475° y 600°C la red de ilita se deshidroxila y los productos anhidros resultantes empiezan a descomponerse a 850°C. Los compuestos principales formados a partir de ilitas naturales son β -cuarzo (formado entre 1.000° y 1.300°C), espinela (entre 1.000° y 1.400°C) y mullita (entre 1.150° y 1.400°C). Pueden formarse cantidades menores de otros compuestos tales como cordierita, kalsilita, feldespato, corindón, óxido de hierro y forsterita a temperaturas superiores a 1.000°C, según cuales sean los cationes adsorbidos.

Dicen estos autores que ciertos cationes inhiben la formación de las fases a alta temperatura, mientras que otros ejercen el efecto opuesto. A esta misma conclusión llegan Eschenburg, Stone y Weiss (4) cuando estudian las variaciones de esta y otras propiedades de una arcilla íltica, según que el catión de cambio sea Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ o NH_4^+ .

Diversos investigadores han estudiado depósitos de arcilla íltica. Así, Mackenzie, Walker y Hart (5) estudian un afloramiento de un material arcilloso, ligeramente verde-amarillento en el distrito de Deeside en Aberdeenshire (Inglaterra). Realizada la identificación mineralógica, el material resulta ser una ilita alterada con algo de montmorillonita.

Martín Vivaldi y González García (6) estudian un yacimiento arcilloso situado en Tarancón (Cuenca). Según los autores, se trata de una ilita en estado de alteración, con 20 % de superficie hinchable y un contenido bajo en potasio; la muestra contiene además algo de montmorillonita.

Oberlies y Zlatanovic (7) estudian otro yacimiento de ilita en Yugoslavia. Di-

cen los autores que las fracciones finas están constituidas por ilita blanca casi pura, formada sobre un yacimiento primario. Según ellos, la muestra presenta una plasticidad elevada y un comportamiento térmico que la hacen muy útil para fines cerámicos.

En el presente trabajo se realiza el estudio físico químico de una arcilla ilitica española que presenta una riqueza en este mineral y una perfección del mismo no usuales. Se hace también el estudio técnico para conocer su utilidad como materia prima cerámica.

II. Material y métodos experimentales.

La muestra media que se estudia corresponde a la capa más profunda del área conocida con el nombre "Los Yesares", situada en el término municipal de Alhama de Aragón (Zaragoza), en la parte izquierda de la carretera de Alhama a Cillas, a la altura del kilómetro 3. Sobre esta capa hay otras cuatro, una de las cuales, la tercera, se explota para la obtención de yeso corriente. La vena de arcilla ilitica que se estudia posee un espesor visible de 1,5 metros, aproximadamente. Se emplea para la fabricación de ladrillos huecos dobles o tochos.

La muestra posee tacto suave, es de un color verdoso y se dispersa bien en agua.

Se han hecho unos ensayos previos en el producto natural y, de acuerdo con los resultados obtenidos, se han separado las fracciones de diámetro equivalente mayor y menor de 2μ . La separación se ha realizado por velocidad de sedimentación en medio amoniacal.

Sobre la muestra natural y sus fracciones se han realizado las determinaciones necesarias para su identificación mineralógica que han sido las siguientes: Análisis químico, capacidad de cambio de cationes, análisis térmico ponderal y diferencial, diagramas de difracción de rayos X, espectrografía infrarroja y microscopía electrónica. También sobre la muestra natural y sus fracciones se obtienen fotografías en el microscopio de calefacción. En la muestra total se realiza el análisis mecánico, se determina plasticidad (Riecke) y el secado a 50°C (diagramas de Bourry).

Las técnicas empleadas son las usuales en este tipo de trabajo.

III. Resultados experimentales y discusión.

1. ESTUDIO FÍSICO-QUÍMICO.

Los datos del análisis químico y de la capacidad de cambio aparecen en la Tabla I. Las figs. 1 y 2 muestran las curvas de deshidratación y las de A. T. D.

TABLA I
ANÁLISIS QUÍMICO Y CAPACIDAD DE CAMBIO DE CATIONES

	<i>Muestra natural</i>	<i>Fracción $\varnothing > 2\mu$</i>	<i>Fracción $\varnothing < 2\mu$</i>
SiO ₂	49,77	40,27	50,63
Al ₂ O ₃	23,65	12,13	24,48
Fe ₂ O ₃	4,25	3,15	4,25
TiO ₂	2,27	2,27	2,22
CaO	5,12	11,43	1,67
MgO	4,98	8,76	4,92
K ₂ O	5,75	4,75	6,14
Na ₂ O	0,09	0,27	0,16
Pérdida por calcinación .	7,09	17,78	6,68
<i>Total</i>	102,97	100,81	101,15
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3,60	5,63	3,50
SiO ₂ /R ₂ O ₃	3,48	4,82	3,12
Capacidad de cambio, meq/100 g.	21,04	5,33	25,67

respectivamente. La figura 4 presenta algunos de los diagramas obtenidos por difracción de rayos X y la figura 5 muestra el espectro de absorción infrarroja de la fracción de $\varnothing < 2\mu$. Las figs. 5, 6, 7 y 8 corresponden a cuatro de las microfotografías electrónicas conseguidas. La interpretación de los resultados se ha efectuado con la ayuda de los datos que aparecen en diversas publicaciones (8) (9) (10).

Los resultados del análisis químico de la fracción fina de la muestra corresponden prácticamente a los de una ilita. Son normales los valores de las razones SiO₂/Al₂O₃ y SiO₂/R₂O₃ y también lo es el contenido en potasio; éste, por otra parte, es el que corresponde a una ilita no alterada. Los contenidos en CaO y MgO son algo elevados, pudiendo existir pequeñas cantidades de carbonatos. La proporción alta de MgO la puede justificar también en parte la existencia de atapulgita en pequeña proporción. El contenido en Fe₂O₃ es el de una ilita normal y asimismo lo es la pérdida por calcinación. La capacidad de cambio de cationes es la característica de la ilita.

Como era de esperar, el valor de las razones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ aumenta en la muestra total y más aún en la fracción gruesa, por aumentar en ella la proporción de sílice libre. Los contenidos en CaO y en MgO aumentan considerablemente en la fracción gruesa, debido sin duda, a que en ella se acumulan los carbonatos que posee la muestra. En efecto, los valores obtenidos en la determinación de los mismos son los siguientes: 1,32 % en la fracción de $\phi < 2 \mu$, 5,3 % en la muestra natural y 21,6 % en al fracción de $\phi > 2\mu$, expresados en CO_3^- . La misma explicación tiene el hecho de que la pérdida por calcinación sea

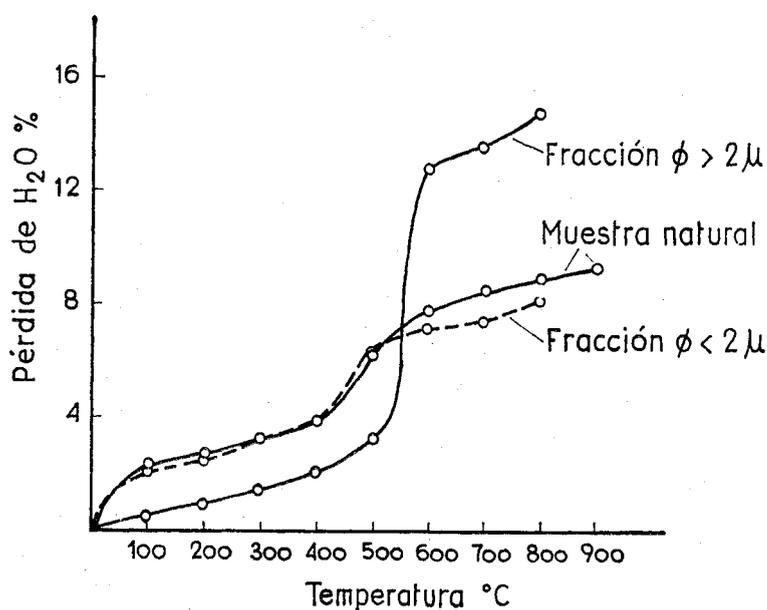


FIG. 1.

más elevada en la muestra natural que en la fracción arcilla y mucho más en la fracción gruesa.

El que la capacidad de cambio de la fracción gruesa sea muy baja puede deberse al hecho de que en ella se acumulan los minerales primarios, tales como son el cuarzo y la mica, existentes en la muestra.

La curva de deshidratación de la fracción de $\phi < 2 \mu$ es la característica de la ilita. Hasta 400°C la muestra pierde agua de una manera continua. Entre 400° y 500°C aparece el salto correspondiente a la pérdida del agua reticular y a partir de esta temperatura la pérdida de agua vuelve a ser continua. El contenido en agua adsorbida es de 2,18 %, muy próximo al que posee el mineral tipo

de Illinois. Las pérdidas de peso a las distintas temperaturas son también las características de una ilita bien cristalizada.

La curva de la muestra natural es similar a la obtenida en la fracción fina.

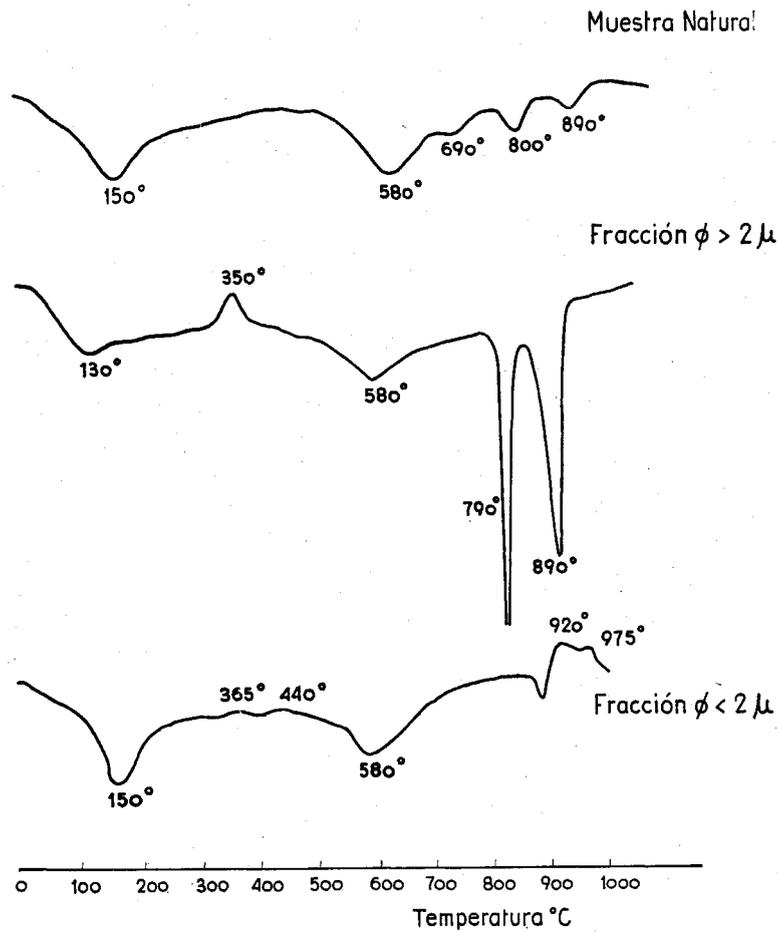


FIG. 2.

La curva de la fracción de $\phi > 2 \mu$ presenta un salto entre los 500° y los 600°C de gran valor. Ya se vio que en esta fracción se acumulan los carbonatos.

La curva de A. T. D. de la fracción fina de esta muestra indica por sí sola la gran riqueza en ilita de la misma y la buena cristalización alcanzada por este mineral. Presenta sus tres picos endotérmicos característicos: el primero a 150°C , el segundo entre 570° y 590°C , y el tercero alrededor de los 880°C . A este

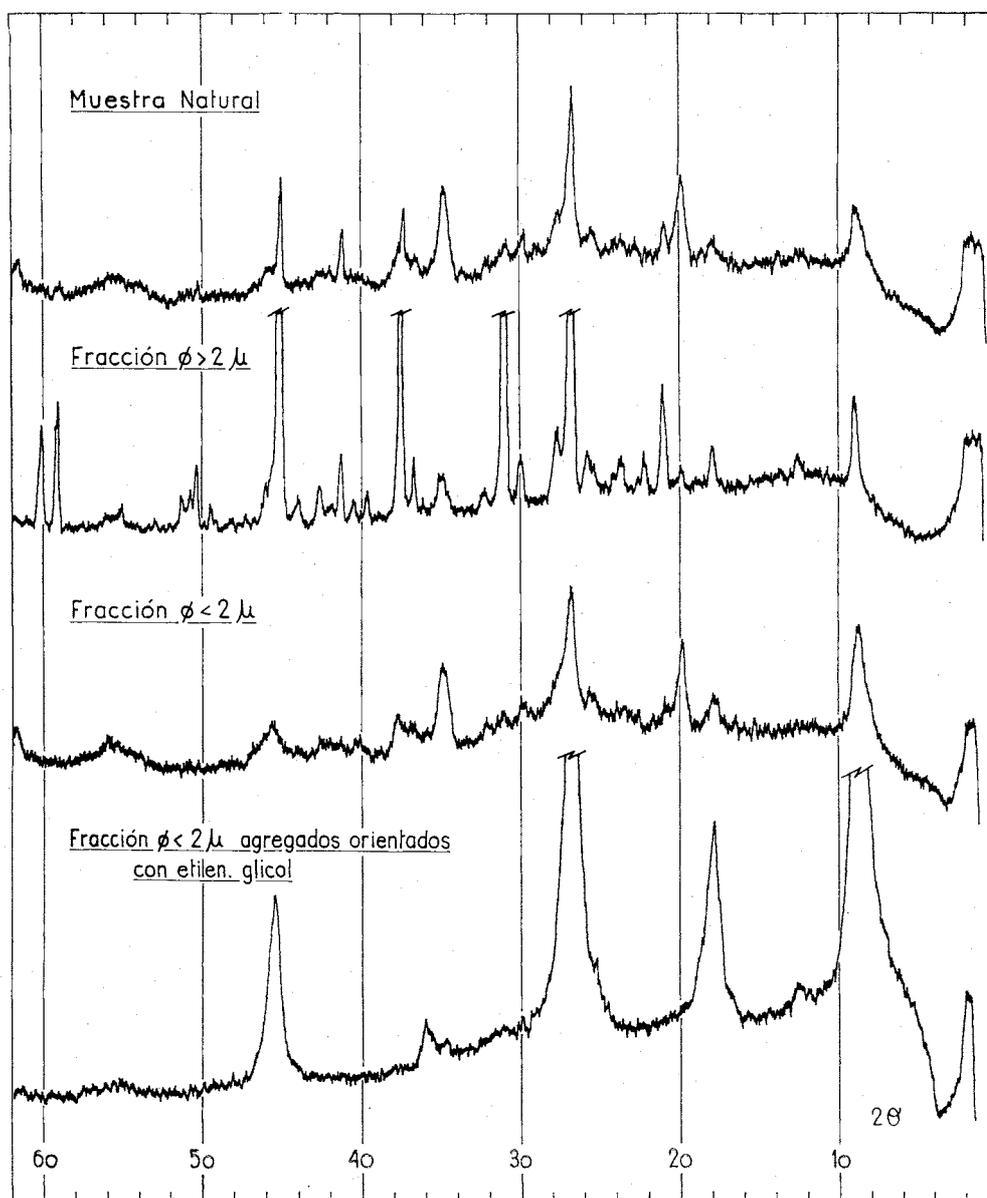


FIG. 3.

último le sigue un ligero efecto exotérmico a los 920°C aproximadamente. Existen, como puede verse, unos efectos exotérmicos débiles a 365°C y a 970°C , los

cuales pueden indicar la presencia de algo de atapulgita. El ligerísimo efecto exotérmico a 440°C puede ser debido a óxidos de hierro.

También la curva de la muestra natural presenta los efectos característicos de la ilita. Los pequeños picos exotérmicos que aparecen en esta curva, como en la anterior, a temperaturas comprendidas entre 350° y 500°C son extremadamente débiles. El primer efecto endotérmico parece estar precedido de otro a temperatura ligeramente inferior; este último podría deberse a la presencia de algo de caolinita, que pierde su agua adsorbida a temperatura ligeramente inferior a la ilita. El pico endotérmico que aparece a 690°C puede estar producido por la descomposición de carbonatos.

La curva de la fracción de $\phi > 2 \mu$ presenta el primer efecto endotérmico a temperatura algo más baja que la ilita; esto puede deberse a la existencia de algo de caolinita. Aparece uno exotérmico pronunciado a unos 350°C que puede

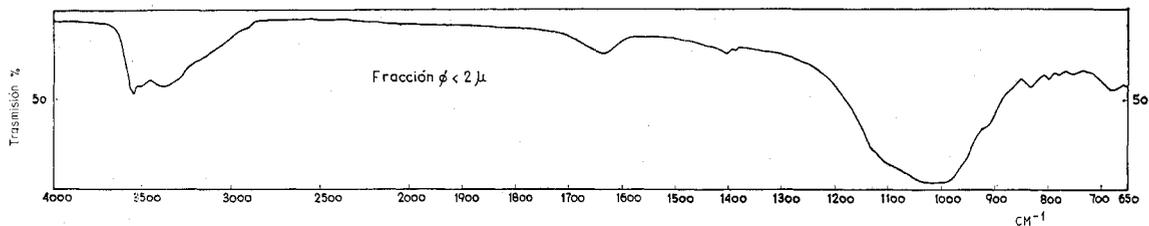


FIG. 4.

indicar la presencia de óxidos de hierro. Hay además, dos fuertes efectos endotérmicos, uno a 790°C y otro a 890°C, característicos de carbonatos. Ambos pueden ser de dolomita, teniendo en cuenta que el último de la ilita arrastraría hacia temperaturas más bajas de lo usual el segundo de aquel carbonato.

El diagrama de difracción de rayos X, obtenido por el método de polvo en la fracción fina, es el característico de una muestra fundamentalmente íltica. El aspecto de los picos propios de este mineral indica una gran perfección cristalina del mismo, lo que está de acuerdo con los resultados de los otros métodos, en especial con el alto contenido en potasio mostrado por el análisis químico. Por calcinación de la muestra a 500°C el espaciado según (001) no contrae, lo que induce a pensar que se está en presencia de una ilita no alterada, con bajo grado de hidratación en las capas. El pico a 10,04 Å es algo asimétrico, abriéndose ligeramente hacia espaciados mayores. En el diagrama de agregados orientados con agua, la asimetría del mismo se hace más claramente visible. No se nota expansión alguna cuando la muestra se orienta con etilen-glicol. La asimetría a que se hace referencia puede estar producida por la presencia de una

pequeña cantidad de atapulgita que presenta una línea de 10,50 Å. Esto se confirma por el hecho de que en el diagrama de polvo aparecen otras difracciones características de ese mineral, aunque muy débiles.

También el diagrama de polvo de la muestra natural posee las líneas principales características de la illita; pero junto a ellas aparecen con claridad otras varias. En primer lugar, la línea de longitud aproximada 10 Å tiene un valor algo inferior al que es característico de la illita normal, y líneas, como las de 3,48 y 320 Å, que son comunes a muscovita e illita, presentan una intensidad mayor a la que es habitual en la illita. Todo ello es índice de la existencia de muscovita. Por otra parte, existen las líneas características del cuarzo: 4,26; 3,34; 1,81 Å..., aunque con pequeña intensidad. En el diagrama de polvo aparece también una línea muy débil de 7,2 Å que desaparece cuando la muestra se calcina a 500°C. Según esto, puede haber en la muestra una pequeña cantidad de caolinita.

El diagrama de polvo de la fracción $\phi > 2 \mu$ pone en evidencia claramente, junto a la illita, la muscovita que en esta fracción, como era de esperar, se acumula. También son intensas las líneas características del cuarzo. Aparece una línea débil de 6,43 Å que puede ser de feldspatos. La línea de unos 7 Å es de mayor intensidad que en el diagrama de la muestra total, en cambio no aparece en este diagrama ninguna línea de atapulgita. Según esto, la pequeña proporción de atapulgita que la muestra posee se acumula en la fracción arcilla y, en cambio, la caolinita es de tamaño relativamente grande y aparece sólo en la fracción de $\phi > 2 \mu$.

El espectro de absorción infrarroja de la fracción arcilla de esta muestra, coincide prácticamente con el de una illita bien cristalizada. Así, en la región correspondiente a la vibración de valencia de los grupos OH^- , aparece la banda de 3542 cm^{-1} y en la región de las vibraciones de los grupos Si-O y Al-O también aparecen todas las bandas de la illita: 1114; 1020; 915 cm^{-1} . Sobre el diagrama de esta muestra se ha obtenido el de una atapulgita tipo, sin que haya podido descubrirse por este método la presencia de este mineral en la muestra, lo que es un índice más de la escasa proporción en que se halla.

El microscopio electrónico ha presentado en el estudio de esta muestra un interés particular dada la probabilidad de existencia de atapulgita en pequeña proporción, apuntada por otros métodos.

Se sabe que la atapulgita observada al microscopio electrónico presenta forma acicular y la illita, en general, formas pequeñas, casi equidimensionales. A veces aparece en forma de listón, pero en ningún caso pueden confundirse los cristales de illita con los de atapulgita.

De acuerdo con los resultados obtenidos en rayos X, no es posible ver ningún cristal de atapulgita en las preparaciones de la fracción de $\phi > 2 \mu$ y se ven ra-

ramente en la muestra natural. En cambio en la fracción fina, aunque no son abundantes, pueden verse en diversos campos. En general, aparecen sueltos, como los que muestra la fig. 6. Son de longitud comprendida entre 0,3 y 0,5 μ aproximadamente, siendo más frecuentes, entre ellos, los de mayor tamaño. Es difícil obtener una idea cuantitativa a partir de las observaciones realizadas al microscopio electrónico; sin embargo, puede decirse que, aun en esta fracción, la proporción de atapulgita es bastante inferior al 10 %.

Como puede verse en las figs. 5 y 6, el constituyente casi totalitario de la fracción arcilla de esta muestra es la ilita. La microfotografía de la fig. 6 ha sido obtenida a gran aumento para hacer claramente visibles las características morfológicas de los cristales. Su sola observación puede bastar para dar idea de la gran perfección de los cristales ilíticos de esta muestra, raramente superada por los de cualquier otra hallada en la literatura. Aparecen con frecuencia "paquetes" de monocristales mostrando una perfecta ordenación según la tercera dimensión, como puede verse en el grupo señalado por la flecha. El tamaño de los cristales oscila entre 0,4 \times 0,25 μ y 0,1 \times 0,07 μ aproximadamente, abundando mucho los de menor tamaño. Las pequeñas formas romboédricas, muy opacas, que pueden verse en estas microfotografías son probablemente de carbonatos, de dolomita en su mayor parte.

La fig. 7 es la microfotografía de una réplica indirecta de triafol-carbón, obtenida en la superficie de un agregado de la muestra natural. Venkata y Jackson (11), en un estudio por microscopía electrónica de las características superficiales de micas y vermiculitas, obtienen microfotografías en réplicas de superficie de estas últimas, que presentan gran semejanza con las de la muestra que aquí se estudia. Esto es natural si se tiene en cuenta la proximidad de ilita y vermiculita en la conocida serie de transformación de las micas.

Puede verse en esta figura que la disposición mutua de los microcristales ilíticos es muy homogénea y ordenada y su tamaño muy uniforme. Son particularmente abundantes los pequeños cristales de diámetro comprendido entre 0,10 y 0,30 μ . Junto a esta acumulación de cristallitos pueden verse grandes cristales micáceos y uno de cuarzo en la parte superior izquierda de la figura.

La fig. 9 es la microfotografía de una réplica directa de carbón sobre muestra pulverizada de la fracción $\emptyset > 2 \mu$. Es interesante observar en ella cómo los grandes cristales de los minerales primarios, sobre todo muscovita y cuarzo, han arrastrado sobre su superficie hacia esta fracción que se llama "gruesa" los cristales ilíticos más finos de la muestra. De todo lo anterior se puede resumir que la muestra que se estudia (con una riqueza en fracción arcilla próxima al 80 %), está formada fundamentalmente por ilita muy bien cristalizada. A este mineral acompañan pequeñas cantidades de muscovita y cuarzo y también carbonatos.

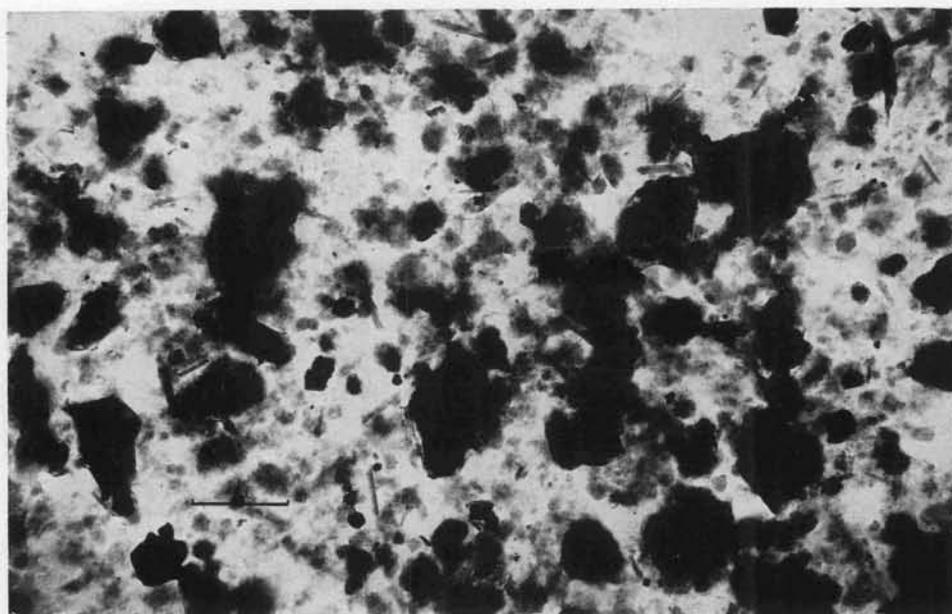


FIG. 5.—Microfotografía electrónica obtenida en visión directa de la fracción fina de la muestra

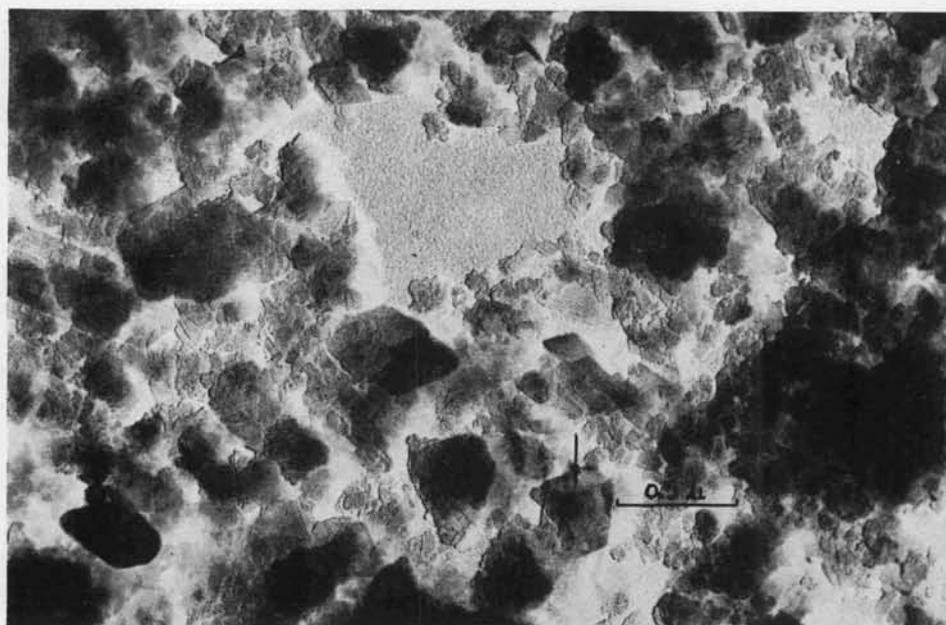


FIG. 6.—Microfotografía electrónica de la fracción fina de la muestra, obtenida a gran aumento, en preparación sombreada con oro-paladio.

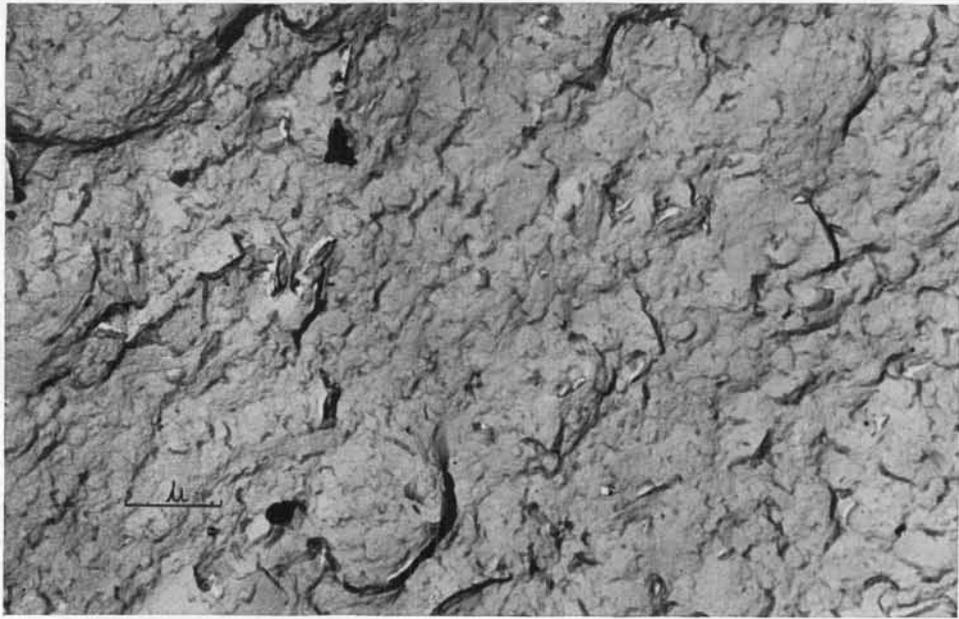


FIG. 7.—Réplica indirecta de triaol-carbón en la superficie de un agregado de la muestra natural.

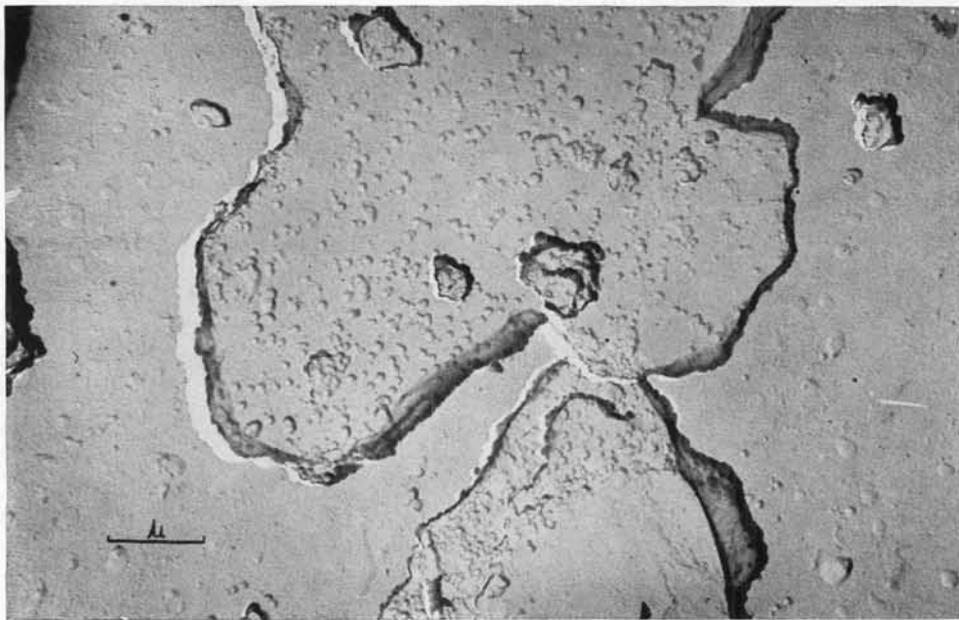


FIG. 8.—Réplica directa de carbón de una muestra en polvo de la fracción gruesa.

La atapulgita y la caolinita, ambas en muy baja proporción, también forman parte de la muestra.

La fracción arcilla, es decir, la fracción de diámetro equivalente menor de 2μ , posee como constituyente casi totalitario la ilita. Existe además atapulgita en proporción bastante inferior al 10 % e indicios de carbonatos.

En la fracción de $\emptyset > 2 \mu$ se acumulan, como era de esperar, los minerales primarios de la muestra, cuarzo, moscovita y algo de feldespato y también la caolinita. Los carbonatos de la muestra quedan casi en su totalidad en esta fracción.

2. ENSAYOS TÉCNICOS.

Las figs. 9 y 10 muestran respectivamente los diagramas de secado de la probeta a la temperatura de 50°C y algunas de las fotografías obtenidas en el mi-

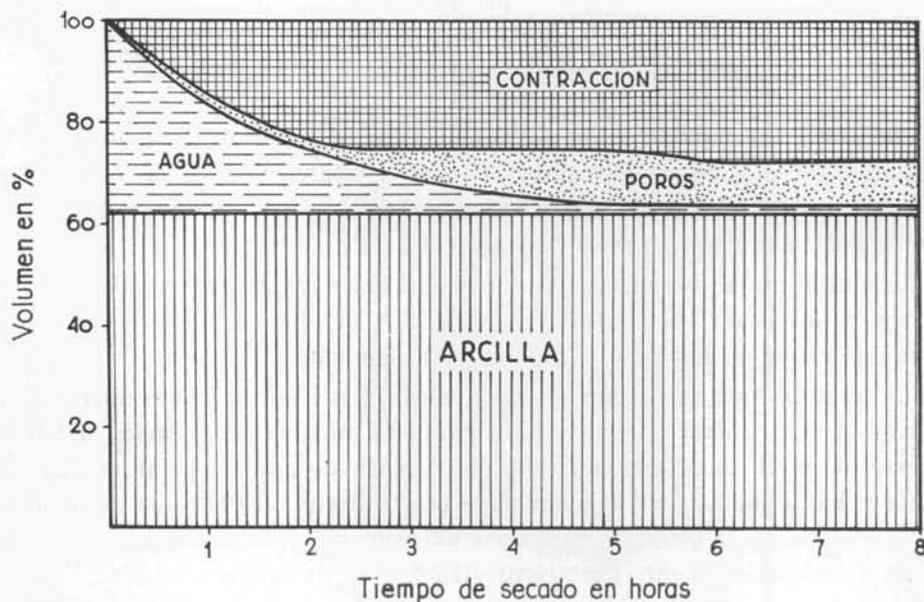


FIG. 9.

croscopio de calefacción. La Tabla II incluye los datos correspondientes a los diversos ensayos que en ella se especifican. Para la discusión de estos resultados se han consultado diversas publicaciones (12) (13).

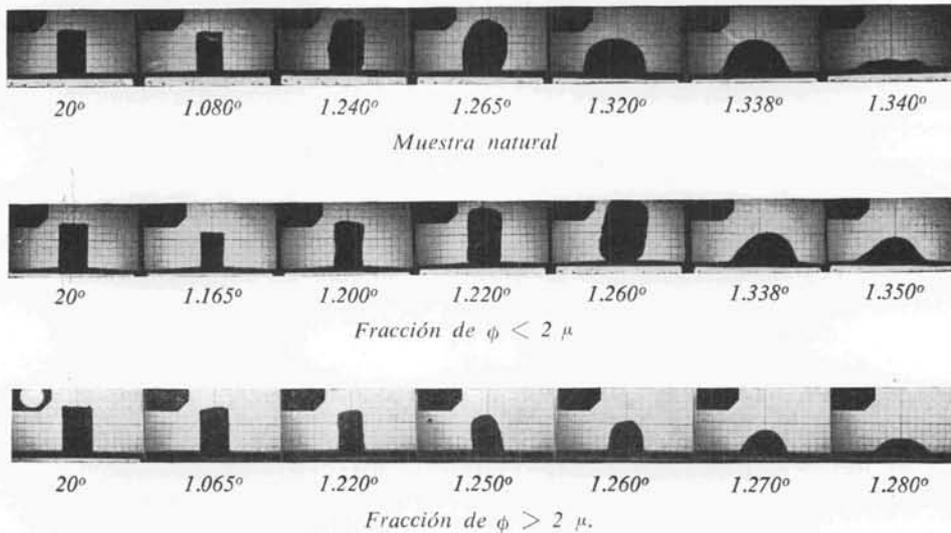


FIG. 10.

Microscopía de calefacción.

Mediante este método se ha estudiado el comportamiento en la fusión de la muestra natural y de sus fracciones. Para la interpretación de las fotografías, obtenidas durante el calentamiento de las muestras, se han seguido las indicaciones de Alexandre y Fernández Navarro (14).

La muestra total presenta la máxima sinterización a 1.080°C, sin haber sufrido apenas deformación; reblandece a unos 1.210°, después de aumentar notablemente de volumen. Funde a 1.320°C aproximadamente.

La fracción fina, que según los resultados de la identificación mineralógica, es casi en su totalidad ilita, alcanza el punto de máxima sinterización a 1.165°, después de sufrir una ligera deformación. A partir de esta temperatura empieza a dilatar hasta que a 1.260° ha aumentado prácticamente el 100 % de su volumen inicial. Entonces la probeta empieza a desplomarse a la vez que contrae. El punto de reblandecimiento tiene lugar a 1.200° y el de fusión a 1.319°C.

La fracción gruesa presenta su máxima sinterización a 1.220°C, después de haber sufrido gran deformación, debido seguramente a la descomposición de los carbonatos que, como se dijo, se acumulan en esta fracción. La muestra reblandece a 1.250° y funde a 1.270°C. Esta fracción, en la que existe escaso material ilítico, apenas sufre hinchamiento durante su calentamiento.

Teniendo en cuenta que la máxima sinterización de la muestra natural se

T A B L A I I
ENSAYOS TÉCNICOS EN LA MUESTRA NATURAL

ENSAYOS.

Análisis mecánico:

% de humedad	2,40
% de arena gruesa	0,17
% de arena fina	4,54
% de limo	16,25
% de arcilla	79,10
% de carbonatos expresados en CO ₂	5,30
% de volumen de sedimentación	16

Plasticidad:

Límite de adherencia	30,37
Límite de arrollamiento	15,18
Índice de Riecke	15,19
% de contracción por calcinación	8,2

alcanza a 1.080°C, no es aconsejable que en su cocción en atmósfera ordinaria se sobrepasen los 1.050°C cuando se quieran conseguir piezas porosas.

Desecación.

La contracción por secado de esta muestra a 50°C es de 26,93 %, valor que se corresponde bien con la gran riqueza en arcilla de la misma y con la naturaleza ilítica de esta fracción.

La velocidad de contracción es máxima en las dos primeras horas de secado; sin embargo, aunque en pequeña proporción, sigue contrayendo durante todo el tiempo que dura el ensayo.

La porosidad es del 9 % en la muestra seca a 50°C.

Contracción por calcinación.

La contracción lineal de la muestra por efecto de la calcinación alcanza un valor del 8,2 % sobre muestra seca a temperatura ambiente. Como se ve, es un

valor medio. La muestra, según se desprende de los resultados del análisis mecánico, es muy pobre en fracciones gruesas y posee una apreciable cantidad de carbonatos.

Por calcinación, la muestra natural adquiere una tonalidad marrón de buen aspecto. La fracción gruesa aparece, después de la cocción, de color marrón más oscuro que la natural, y la fracción arcilla muestra una tonalidad hueso muy uniforme y agradable.

Plasticidad.

La muestra estudiada presenta un alto valor de la plasticidad. Esto es natural dada la naturaleza ílítica de la misma y su gran contenido en arcilla. Los límites de arrollamiento y adherencia poseen valores más bajos que los que normalmente presenta la ilita. Esto es a causa, sin duda, de los materiales no plásticos, tales como cuarzo y muscovita, existentes en la muestra natural.

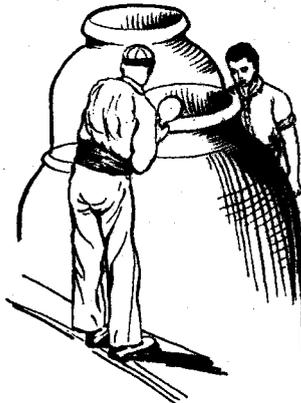
La autora agradece al doctor García Vicente la obtención de los diagramas de rayos X y al Laboratorio de Espectrografía Infrarroja del Instituto de Óptica la obtención del correspondiente espectro. Se complace, asimismo, en expresar su agradecimiento al personal del Servicio de Microscopía Electrónica de la División de Ciencias del C. S. I. C. por la ayuda prestada en la obtención de las microfotografías electrónicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. GRIM, R. E.: "The clay mineral concept". *Amer. Ceram. Soc. Bull.* 44 (9), 687-692 (1965).
2. ROBERSON, H. E. y JONAS, E. C.: "Clay minerals intermediate between illite and montmorillonite". *Amer. Miner.* 50 (6), 766-770 (1965).
3. BOHOR, B. F.: "High-temperature phase development in illitic clays". *Clay and Clay minerals*. Edit. Ingerson, E. University of Texas, 233-246 (1964).
4. ESCHENBURG, R. L., STONE, R. L. y WEISS, E. J.: "Physical properties of an illitic clay due to specific base-exchange cations". *Jour Amer. Ceram. Soc.* 39 (11), 398-402 (1956).
5. MACKENZIE, R. C., WALKER, G. F. y HART, R.: "Illite occurring in decomposed granite at Ballater, Aberdeenshire". *Miner. Mag.* 28 (206), 704-713 (1949).
6. MARTÍN VIVALDI, J. L. y GONZÁLEZ GARCÍA, S.: "Un yacimiento de ilita en estado de alteración". *Anal. Edaf.* XIV (2), 69-83 (1955).
7. OBERLIES, F. y ZLATANOVIC, J.: "Über ein illitisches Tonvorkommen in Jugoslawien und Betrachtungen zu seiner Entstehung". *Ber. Dtsch. Keram. Ges.* 41 (12), 691-695 (1964).
8. JASMUND, K.: "Die silicatischen Tonminerale". Edit. Verag. Chemie. G. m. b. H. Weinheim/Bergstr. (1965).
9. MACKENZIE, R. C.: "The Differential Thermal Investigation of Clays". Edit. Miner. Soc. London (1957).

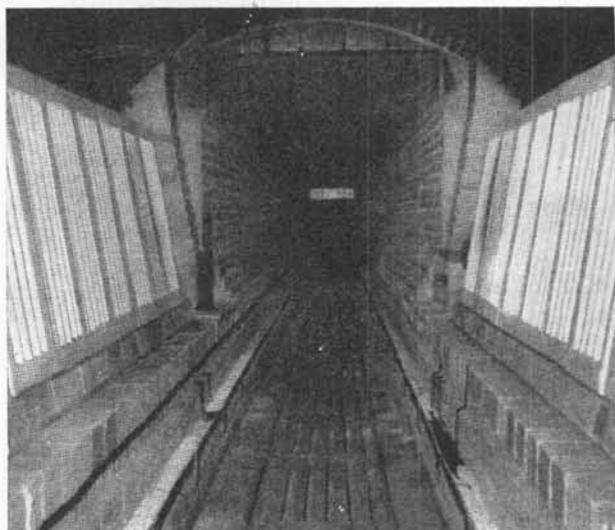
JULIA MARÍA GONZÁLEZ PEÑA

10. BROWN, G.: "The X-ray identification and crystal structures of clay minerals". Edit. Mineralogical Society. London (1961).
11. VENKATA, K. V. y JACKSON, M. L.: "Vermiculite surface morphology". *Clay and clay minerals*. Edit. Ingerson, E. University of Texas, 423-429 (1964).
12. SEARLE, A. B. y GRIMSHAW, R. W.: "The Chemistry and Physics of Clays. Edit. Ernest Benn, Ltd. Londres (1959).
13. ALEIXANDRE, V. y GARCÍA VERDUCH, A.: "Relaciones entre algunas propiedades físicas, químicas y técnicas de las arcillas" (I) (II) y (III). *Anal. Edaf.* IX, 537-565 (1950). X, 207-246 (1951) y X, 327-400 (1951).
14. ALEIXANDRE, V. y FERNÁNDEZ NAVARRO, J. M.: "Estudio y caracterización de algunas tierras para la fabricación de azulejos". *Bol. Soc. Esp. Ceram.* 4 (1), 23-41 (1965).



SUPER REFRACTARIOS en la INDUSTRIA CERAMICA

A base de: Carburo de Silicio, Oxido de Aluminio, Mullita
y Zirconio.



Empleados en:

HORNOS

Placas Mufla.
Ladrillos.

VAGONETAS

Cacetas.
Postes.
Soportes.
Placas.

Propiedades: Gran resistencia mecánica y de alabeamiento a alta temperatura. Inalterable a la abrasión, a la oxidación y al choque térmico.



Fabricados en España por:

NAVARRO, S. A.

DIVISION DE REFRACTARIOS

Marqués del Riscal, 2 - Teléf. 224 64 10 - MADRID
FABRICA EN VICALVARO (MADRID)

Con la ayuda técnica y licencia de:

THE CARBORUNDUM, COMPANY

NIAGARA FALLS - N. Y. - U. S. A.