

Caolines españoles: Geología, mineralogía y génesis

Parte VIII*: Depósitos residuales y volcánicos. Tipología. Conclusiones

E. Galán Huertos.

J. L. Martín Vivaldi.

Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Universidad Complutense de Madrid y Sección de Mineralogía del Instituto "Lucas Mallada" del C. S. I. C. Madrid.

Los depósitos residuales se han formado *in situ* fundamentalmente por meteorización de rocas ácidas ígneas y metamórficas. El espesor de la caolinización no sobrepasa los 8 m. Se componen estos caolines de caolinita (pM-T), cuarzo, micas, montmorillonita, illita y feldspatos y como minerales escasos, interestratificados, clorita y goethita. El contenido en fracciones finas no excede el 30 %. Hasta el momento no presentan gran interés económico, pero se extiende por amplias áreas de Galicia y de las Mesetas Castellanas.

Los depósitos originados por meteorización sobre rocas ácidas son escasos y están constituidos por metahalosita, halosita, caolinita y cuarzo como minerales esenciales, y feldspatos, clorita, esmectitas y alófanos como secundarios. Son de gran interés económico, pero no son abundantes. El rendimiento en caolín lavado es del orden del 50 %. En algunos de estos depósitos puede existir fenómenos de autometamorfismo.

En este trabajo presentamos el estudio de los depósitos de Paraños (Lugo), Vegas de Matute (Segovia) y Burela (Lugo). Además se estudian varios depósitos originados sobre rocas volcánicas básicas que son tenidos oficialmente como caoliníferos, aunque su naturaleza es cloro-moscovítica.

Teniendo en cuenta todo el estudio precedente se presenta una clasificación para los depósitos españoles de caolín en 6 tipos y varios subtipos. Finalmente se sintetizan en 26 conclusiones todos los resultados del presente estudio.

75/4/0042A

RESUMEN

Residual deposits have developed on acid igneous and metamorphic rocks, *in situ*. The thickness of this kaolinization does not exceed 8 m. The mineralogy of these kaolins is kaolinite (pM-T), quartz, muscovite, biotite, montmorillonite, illite and feldspars, and as scarce minerals and not always present, chlorite, goethite, and interstratified-clay minerals. The percentage of the fraction $< 20 \mu$ does not generally exceed 30 %. At present, the economic importance, of these deposits is insignificant, but their distribution is very large, mainly in Galicia and Castilla.

The deposits developed fundamentally by weathering on acid volcanic rocks are very scarce and are constituted by metahalloysite, halloysite, kaolinite and quartz as essential minerals, and feldspars, chlorite, montmorillonite and allophane, as secondary. They present a great economical interest but are very sparse. The yield in washed kaolin is about 50 %. In some deposits an autometamorphic action of hydrothermal type syngenetic with the deposition of these volcanic manifestation, can be occur.

In this paper the study of Paraños (Lugo), Vegas de Matute (Segovia) and Burela (Lugo) deposits is presented. Also, various deposits formed on basic volcanic rocks (normally ophitic) and officially regarded as kaoliniferous are inclosed here, although have been characterised as chloro-muscovitic.

It has been possible to establish a classification of the Spanish kaolin deposits and a typology with six types and various subtypes according to the present study. Finally, in 26 conclusions are synthesized all the results.

SUMMARY

Les dépôts résiduels se sont formés *in situ* fondamentalement par météorisation de roches acides ignées et métamorphiques. L'épaisseur de la kaolinisation ne surpasse pas les 8 m. Les kaolins se composent de kaolinite (pM-T), de quartz, de mica, de montmorillonite, d'illite, de feldspath, et de clorite et de goethita, comme minéraux rares, interstratifiés. Le contenu en fractions fines n'excede pas le 30 %. Jusqu'au moment, ils ne présentent pas un grand intérêt économique, mais ils s'étendent tout le long de larges surfaces de la Galice et des plateaux de la Castille.

Les dépôts originés par météorisation sur des roches acides sont pauvres en quantité et leur constitution est faite par de la metahalloysite, halloysite, kaolinite et du quartz comme minéraux essentiels, et des feldspaths, clorite, smectites, et allophanes comme minéraux secondaires. Ils ont un grand intérêt économique, mais ne sont point abondants. Le rendement en kaolin lavé est de l'ordre du 50 %. Dans quelques de ces dépôts, peuvent exister des phénomènes d'autométamorphisme.

Dans le présent travail, nous présentons l'étude des dépôts de Paraños (Lugo), Vegas de Matute (Segovia), et Burela (Lugo). En plus, on étudie quelques dépôts originés sur des roches volcaniques basiques qui sont tenus officiellement pour des dépôts kaolinifères, bien que sa nature soit cloro-muscovite.

Tenant en compte toute l'étude précédente, on présente une classification en 6 types et plusieurs sub-types des dépôts espagnols de kaolin. Finalement on synthétise en 26 conclusions tous les résultats de la présente étude.

RÉSUMÉ

* Las Partes I, II, III, IV, V, VI y VII de este trabajo han sido publicadas en el *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vid.*, 12 (1973), 2, 79-98; 12 (1973), 4, 215-228; 12 (1973), 6, 333-340; 13 (1974), 2, 89-112; 13 (1974), 5, 395-406; 13 (1974), 6, 523-546 y 14 (1975), 2, 123-144.

Die Restablagerungen sind hauptsächlich durch Verwitterung saurer Eruptiv- und metamorphischer Gesteine entstanden. Die Kaolinisierung erreicht maximal eine Stärke von 8 m. Diese Kaoline bestehen aus Kaolinit (pm-T), Quarz, Glimmer, Montmorillonit, Illit und Feldspat, ferner geringen zwischenschichtig eingesprengten Chlorit- und Goethitanteilen. Der Gehalt an feinen Fraktionen ist nicht grösser als 30 vH. Die Mineralien sind bis jetzt von geringem wirtschaftlichem Wert, kommen jedoch in ausgedehnten Gebieten von Galicien und der kastilischen Hochebene vor.

Die durch Verwitterung auf saurem Gestein gebildeten Ablagerungen sind unerheblich; sie bestehen im wesentlichen aus Metahalloysit, Halloysit, Kaolinit und Quarz, hinzu kommen als Sekundärbestandteile Feldspat, Chlorit, Smektit und Allophane. Die wirtschaftliche Bedeutung dieser in geringen Mengen auftretenden Stoffe ist erheblich. In einigen Vorkommen sind u.U. autometamorphe Prozesse anzunehmen.

In der Arbeit wird über Untersuchungen der Vorkommen von Paraños (Provinz Lugo), Vegas de Matute (Segovia) und Burela (Lugo) berichtet. Ausserdem wurden mehrere auf basischem Vulkangestein gebildete Ablagerungen erforscht, die zwar offiziell als kaolin-haltig gelten, in Wirklichkeit aber chlormuskovitischer Natur sind.

Unter Zugrundelegung der durchgeführten Untersuchungen schlägt V. eine Einteilung der spanischen Kaolinvorkommen in 6 Typen und mehrere Unterarten vor. Die Ergebnisse seiner Arbeiten fasst er abschliessend in 26 Schlussfolgerungen zusammen.

ZUSAMMENFASSUNG

1.4. YACIMIENTOS RESIDUALES.

1.4.1. PROVINCIA DE LUGO.

1.4.1.1. *San Ciprián (Paraños, Grupo de Sumoas).*

Situación geográfica y geológica

Al Norte de la provincia de Lugo, y en la propia playa de Paraños, muy cerca del yacimiento de Jove, estudiado con el grupo de yacimientos hidrotermales (parte VII *), se encuentra un ejemplo claro del proceso de caolinización meteórica del granito de Jove (figura 84, parte VII).

Se puede acceder siguiendo la carretera de Jove a San Ciprián y desviándose hacia la playa de Paraños. Sus coordenadas geográficas medias son: 3° 47' W y 43° 42' 10" N.

Como hicimos referencia al estudiar el yacimiento de Jove, el granito sobre el que se había formado el caolín había sufrido una meteorización intensa que había contribuido al enriquecimiento secundario del criadero. En Paraños podemos observar la acción de este proceso no superpuesta a la acción hidrotermal.

Descripción del yacimiento y de las muestras escogidas

El yacimiento se encuentra actualmente parado. Ha sido explotado durante muy poco tiempo, unos ocho meses en 1971, y dada sus pequeñas dimensiones y reservas, está ya agotado. Podemos describir el yacimiento como una masa de granito, de dos micas, caolinizada, en la cual y aprovechando el corte natural del acantilado, antes de que fuese explotado, se observaba un paso gradual hasta un granito muy poco alterado (figura 104). Se han tomado cuatro muestras, P₁, P₂, P'₂ y P₃, respectivamente a 1, 3, 4 y 6 m. de la superficie topográfica. La muestra P₃ corresponde al granito, sólo alterado ligeramente, pero con la consistencia propia de la roca; la muestra P₁ es la más caolinizada y pertenece al nivel que ha sido explotado.

Resultados experimentales

La granulometría de estas muestras (fig. 105), se da en la tabla LIV. La composición mineralógica deducida por difracción de rayos X se recoge en la tabla LV.

(*) Parte VII. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 14 (1975), 2, 123-144.

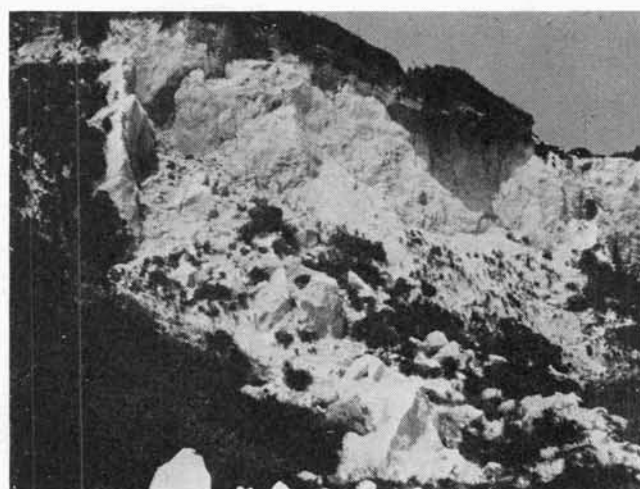


FIG. 104.—Yacimiento de Paraños (Lugo).

HISTOGRAMAS DE LOS CAOLINES DE PARAÑOS Y VEGAS DE MATUTE

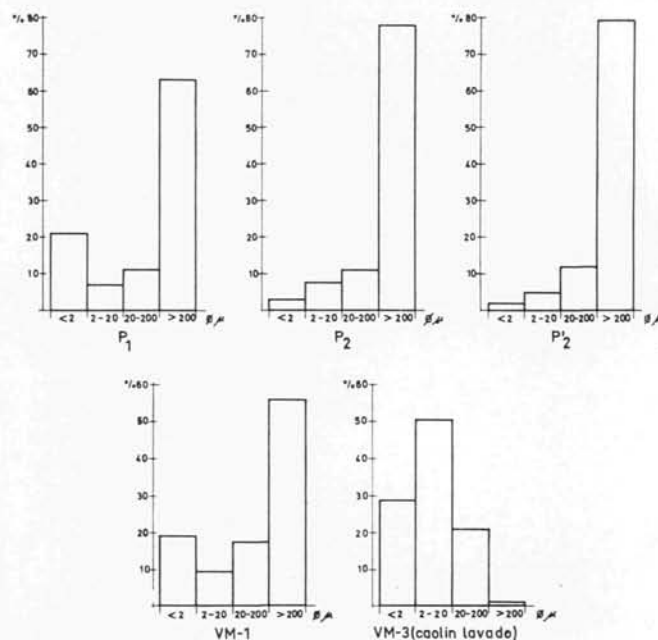


FIG. 105.

TABLA LIV

ANÁLISIS GRANULOMETRICOS DE CAOLINES RESIDUALES (LUGO Y SEGOVIA)

	> 200 μ	200-20 μ	20-2 μ	< 2 μ	Total
P ₁ (Paraños) ...	63,78	10,12	6,80	20,60	101,30
P ₂ ...	78,01	10,56	7,65	2,80	99,02
P' ₂ ...	79,34	13,13	4,65	2,20	99,32
VM ₁ (Vegas de Matute) ...	55,83	17,29	9,40	19,01	101,53
VM ₃ ...	0,70	20,82	50,55	29,00	101,07

TABLA LV

COMPOSICION MINERALOGICA DEL CAOLIN DE PARAÑOS

	Q	Feld. K	Plag.	K	M	Mo
P ₁ total ...	40	30	—	20	10	—
2-20 μ ...	15	10	—	50	20	5
> 2 μ ...	—	—	—	90	5	5
P ₂ total ...	35	40	5	5	15	< 5
P' ₂ total ...	30	45	10	5	10	—

El contenido en feldespatos, especialmente el de las plagioclasas, disminuye al aumentar el de caolinita. El contenido en micas se conserva prácticamente constante. La caolinita es muy desordenada, tipo pM y además muy mal cristalizada (fig. 106), sus reflexiones basales

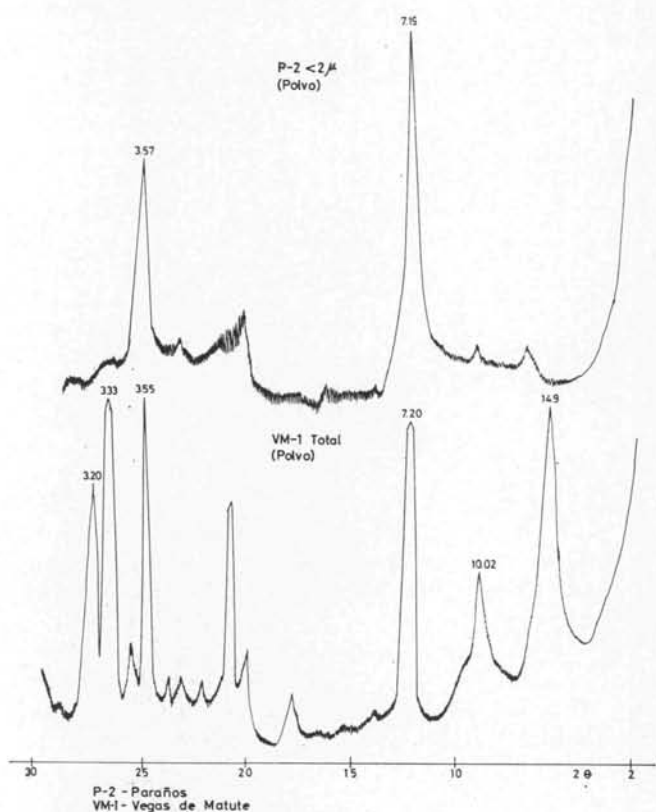


FIG. 106.—Difractogramas de caolines residuales.

A TD MUESTRAS CAOLINES RESIDUALES

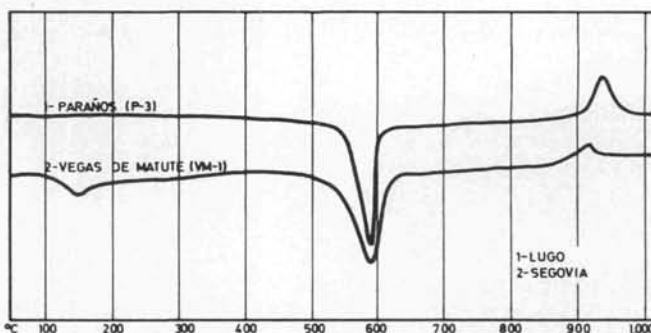


FIG. 107.

aparecen en bandas. Se observa además un fondo geliforme abundante.

Del diagrama de ATD de la muestra P-1 < 2 μ (figura 107) y (tabla LVI) sólo se puede indicar que corresponde a una caolinita de pequeño tamaño de partícula y parcialmente desordenada. El porcentaje de caolinita deducido es un 80 %.

Al microscopio electrónico, la muestra anteriormente estudiada está formada por caolinita de formas irregulares y de baja cristalinidad (los haces electrónicos perforan las láminas de caolinita fácilmente), junto a ella también se pueden observar montmorillonita, micas y feldespatos alterados. La caolinita es heterométrica, pero predominan los tamaños pequeños entre 0,1-0,4 μ .

El análisis químico (tabla LVII) de la muestra natural P-1 da un alto contenido en Al₂O₃ que en gran parte se deberá a los feldespatos y micas y de ahí el también alto contenido en álcalis. La arcilla presenta como impurezas un alto porcentaje en hierro y en álcalis.

Las arenas de esta muestra están compuestas de cuarzo, microclina, ortosa (con inclusiones de cuarzo), desmezclas de cuarzo y feldespatos y moscovita.

La muestra P₃ de la roca madre (fig. 108) podemos definirla como una granodiorita de dos micas (biotita y moscovita). Su textura es granuda, holocristalina, hipidiomorfa y heterométrica, con señales evidentes de cataclasis. La mineralogía es la siguiente: cuarzo, plagioclasas macladas y zonadas (oligoclasa-andesina), un poco sericitadas (fig. 109), microlina, ortosa, moscovita, biotita con zircón (fig. 110) y clorita.

TABLA LVI

CARACTERISTICAS DE LAS CURVAS DE ATD DE CAOLINES RESIDUALES

Muestra	T° C	A	W	R _p	% K
P-1 ...	585, 938	200	16	2,1	80
VM-1 ...	140, 590, 920	230	24	1,92	60

A = Area del endotérmico a 600° C.
 W = Anchura a la mitad de la altura.
 R_p = Razón de pendientes.

TABLA LVII
ANÁLISIS QUÍMICO DEL CAOLÍN DE PARAÑOS
Y VEGAS DE MATUTE

	Paraños < 2 μ	Vegas total	Vegas < 2 μ	Paraños total
SiO ₂	43,86	58,29	54,08	59,18
Al ₂ O ₃	35,90	20,76	26,50	20,68
FeO+Fe ₂ O ₃ ...	2,90	2,73	3,52	3,18
TiO ₂	0,00	0,88	0,63	0,00
CaO	0,00	0,73	1,05	0,40
MgO	1,30	0,88	2,54	3,50
Na ₂ O	0,43	3,32	0,36	0,52
K ₂ O	2,04	6,25	1,01	7,21
Pérdida a 1.000° C... ..	13,30	6,54	10,92	5,62
Total	99,73	100,38	100,61	100,29
H ₂ O ⁻	1,27	0,00	3,90	0,14
Color a 1.000° C... ..	blanco	blanco	rojo	rosa-ana- ranjado

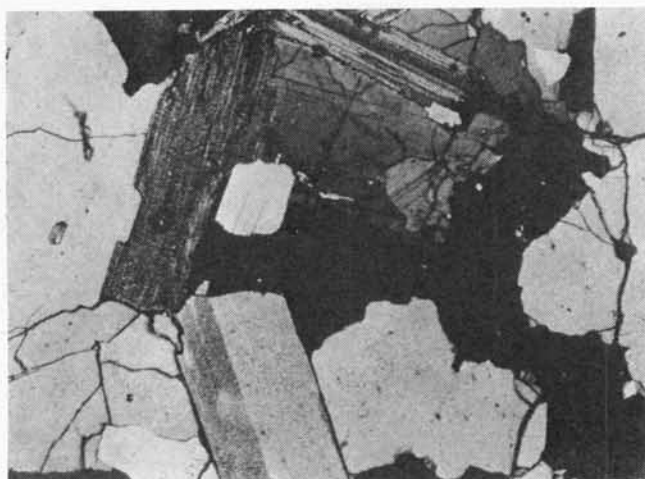


FIG. 108.—Roca madre del caolín de Paraños (granodiorita). Aspecto general al microscopio de polarización. PxA., 3,2x8.

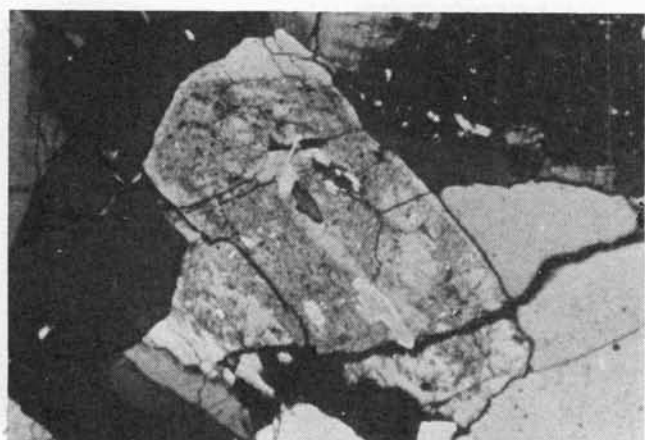


FIG. 109.—Cristales de plagioclasas sericitizadas. PxA., 3,2x8.

Discusión de los resultados. Genética

La forma de la caolinización de estas rocas graníticas pone en evidencia el proceso genético de las mis-

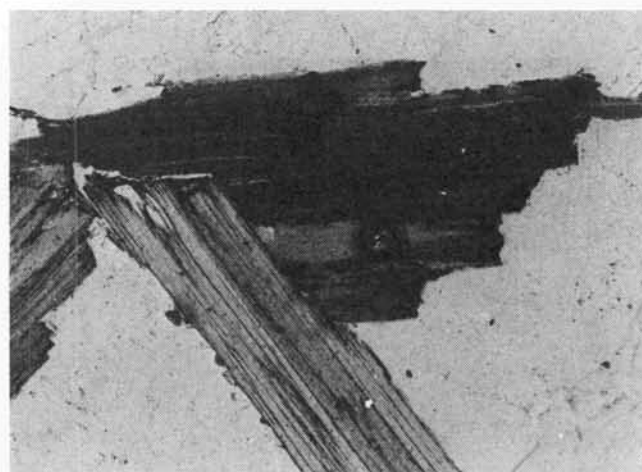


FIG. 110.—Cristales de biotita con zircón. PxA., 7,8x8.

mas. Se trata de un yacimiento de caolín originado *in situ* por un proceso exógeno; a esta misma conclusión llegó Mendizábal (111) (*) para este caolín de Paraños. Estamos, pues, ante un yacimiento residual, típico y puro. La única kandita que existe es la caolinita, luego la presencia de haloisitas en otros yacimientos desarrrollados en rocas graníticas deben ser en su mayor parte de origen hidrotermal, a baja temperatura.

Un aspecto muy interesante de este yacimiento es que la caolinización se produce fundamentalmente sobre las plagioclasas. Son, por tanto, mucho más lábiles ante la meteorización que los feldespatos potásicos, y la caolinita que se genera es de tamaño pequeño y desordenado, fenómeno análogo al observado anteriormente en otros yacimientos. Contrariamente, en otros casos, cuando los feldespatos potásicos se alteran a caolinita, ésta es próxima al tipo T, o al menos intermedia entre pM y T, tiene mayor tamaño de partícula y simetría, además existe un aumento de fase micácea, aunque este hecho no se puede totalmente generalizar. De acuerdo con estas ideas, la caolinización de las plagioclasas daría lugar a caolinitas de baja cristalinidad y pequeño tamaño, mientras los feldespatos potásicos se transforman vía mica, dando caolinitas mejor ordenadas y de mayor tamaño, siendo además más resistentes a la alteración meteórica que las plagioclasas.

La potencia de esta caolinización meteórica nos aporta un dato sobre cuál ha sido en general la intensidad del proceso a escala regional sobre rocas graníticas. El espesor de la caolinización es de 4 a 6 m., siempre que no sea favorecida por factores estructurales o geomorfológicos.

Datos económicos

Este yacimiento fue explotado por la firma "Arcillas del Norte, S. A.", y formaba parte del Grupo minero de Sumoas, cuyo yacimiento más importante, en Jove, lo incluimos en el estudio de los yacimientos hidrotermales.

No ofrece muchas posibilidades como yacimiento y sólo ha sido explotado superficialmente la capa de granito caolinizado, obteniéndose unas 10.000 Tm de caolín bruto durante los ocho meses que duró su explotación.

(*) Parte II. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 12 (1973), 4, 215-228.

1.4.2. PROVINCIA DE SEGOVIA.

1.4.2.1. *Vegas de Matute* (Minas "Jesús" y "Jesús María").

Situación geográfica y geológica

El yacimiento está situado al norte de Vegas de Matute, las coordenadas geográficas medias son: 0° 35' W y 40° 48' 40" N. Existe un camino que parte de la carretera de Vegas de Matute, a unos 2 Km pasado el pueblo, hacia Segovia. Para Vegas de Matute, parte una desviación de la carretera general Villacastín-Segovia, pasado Zarzuela del Monte.

Se encuentra el depósito de caolín sobre rocas gnéissicas de las estribaciones occidentales de la Sierra de Guadarrama (fig. 100, parte VII) (*). Los gneises afloran en este sector por contacto intrusivo en el Cretáceo, producido durante la orogenia Alpina, aunque la gneisificación de la roca debe ser Hercínica.

Descripción del yacimiento y de las muestras escogidas

El yacimiento Vegas de Matute es una concesión de unas 200 Ha. Es atravesado de E a W por el río Moros, la topografía es suave y se halla a unos 1.000 m sobre el nivel del mar. La explotación ofrece varios frentes de 15 a 20 m de potencia del cual se extrae el caolín (figura 111).

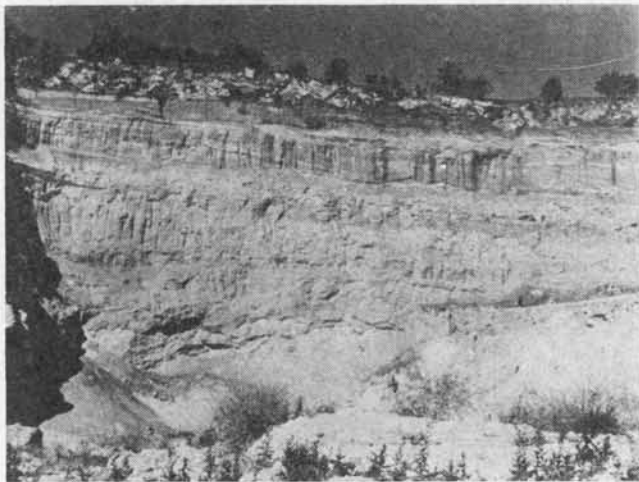


FIG. 111.—Yacimiento de Vegas de Matute (Segovia).

La geología del yacimiento es bastante complicada en detalle y a nuestras observaciones tenemos que unir los datos que aportan Ferreira y col. (140) (parte III **), obtenidos en esencia por varios sondeos distribuidos por la concesión.

En el área de la concesión se da el contacto entre el Cretáceo y las rocas gnéissicas (S. L.). Estas rocas, como veremos al estudiarlas podríamos definir las mejor como granitos orientados, ya que al menos en este sector no encontramos argumentos para definirla como gneis.

El Cretáceo (Albense) está formado por margas y calizas que buzan ligeramente hacia el NE. La base de

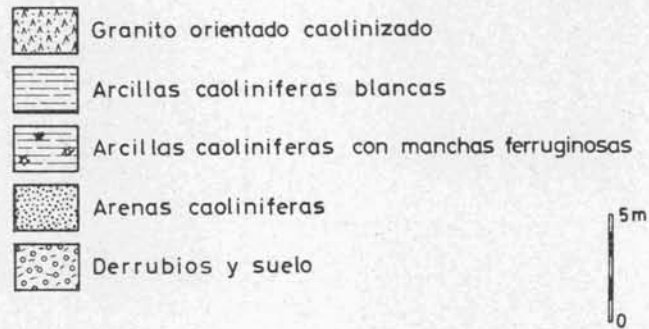
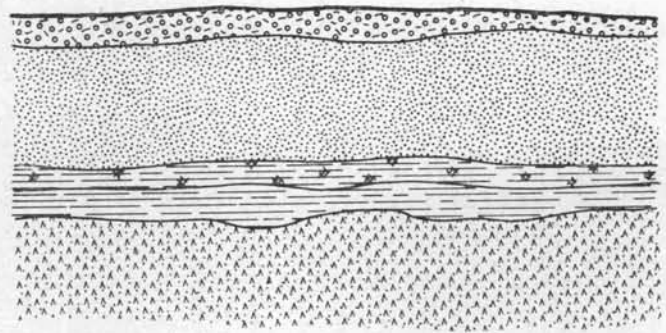


FIG. 112.—Corte del frente de explotación del yacimiento de Vegas de Matute (Segovia).

este Cretáceo está constituida por una formación detrítica arenosa, cuyo cemento es caolín. Bajo este nivel de arenas caolíníferas existe otro de arcillas caolíníferas teñidas por óxidos de hierro, inmediatamente debajo hay otro nivel de arcillas blancas caolíníferas. Todos estos estratos descansan sobre rocas eruptivas profundamente caolinizadas. La roca eruptiva es definida por Ferreira y col. (140) como un granito micáceo de grano medio. También observan estos autores hacia el N de la concesión, rocas porfídicas caolinizadas de edad posterior al granito, puesto que lo intruyen y a veces lo metamorfizan por contacto.

El Cretáceo recubre a la masa granítica disminuyendo su potencia de W a E hasta desaparecer; siguiendo hacia el E aflora después la roca eruptiva hasta un nuevo contacto, ahora con el Cretáceo Superior, mediante falla. La potencia del nivel arenoso cretáceo puede alcanzar hasta 6 ó 7 m; el nivel de arcillas rojas oscila entre 0,5-1,5 m y el de arcillas blancas de 1 a 2 m. Bajo ellos la masa eruptiva caolinizada; por encima de las arenas existe un manto edáfico de espesor variable, inferior al metro. Un corte representativo del yacimiento es el de la figura 112.

La secuencia detrítica del Albense nos recuerda a la facies Utrillas. De dos de los frentes actuales de explotación se han tomado las muestras VM-1 y VM-2. La primera corresponde a la roca granítica caolinizada y la VM-2 al nivel blanco de arcillas caolíníferas. En el propio yacimiento hay un lavadero del que se ha tomado la muestra VM-3 de caolín lavado. Por último, estudiamos también la muestra VM-4 perteneciente a la roca madre ligeramente alterada, que aflora a unos 200 m de la explotación.

Resultados experimentales

La granulometría del caolín bruto (VM-1) y del caolín lavado (VM-3) figuran en la tabla LIV y fig. 105. La muestra VM-2 es un sedimento limo-arcilloso.

(*) Parte VII. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 14 (1975), 2, 123-144.

(**) Parte III. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 12 (1973), 6, 333-340.

La composición mineralógica de estas muestras deducida por difracción de rayos X (fig. 106) es la siguiente (tabla LVIII):

TABLA LVIII
COMPOSICION MINERALOGICA DEL CAOLIN DE VEGAS DE MATUTE

	Q	Feld.	K	M	Mo	Otros 5 %
VM-1 total . . .	40	15	25	10-15	5-10	—
2-20 μ	5	—	80	< 5	10	Cl, Go
< 2 μ	< 5	—	75	10	10	Cl, Go
VM-2 total . . .	20	—	70	10	< 5	—
< 2 μ	< 5	—	85	5-10	5-10	Cl
VM-3 total . . .	< 5	—	85	10	5	—
< 2 μ	—	—	80	10	10	—

La caolinita es desordenada pero mucho más en la muestra VM-2 que en la VM-1. En esta última el tipo se puede definir como intermedio entre pM y T.

En el ATD (fig. 107) y (tabla LVI) de la muestra VM-1 < 2 μ se manifiesta la presencia de montmorillonita. El porcentaje de caolinita deducido por esta técnica es del 60 %, posiblemente es algo mayor en realidad, pero debido a la influencia que sobre la anchura del endotérmico principal tiene la presencia de montmorillonita, reduce el cociente A/W y con ello el porcentaje calculado de caolinita.

Esta misma muestra al microscopio electrónico ha dado la siguiente mineralogía: caolinita, con tamaños medios a pequeños (0,5-0,1 μ), presentando algunos de los cristales los bordes enrollados; micas, muchas de ellas alteradas, montmorillonita, geles y algún cristal de pirita. Las figuras 113 y 114 presentan el aspecto general de las caolinitas, y de las micas, montmorillonita y caolinita, respectivamente.

La roca caolinizada (fig. 115) presenta textura granoblástica con orientación de los minerales laminares en lechos, apareciendo a veces orientado hasta el cuarzo. Su composición mineralógica es: cuarzo, microclina, plagioclasas, feldespatos de desmezclas (fig. 116), clorita (de alteración de biotita, con halos oscuros) (figu-

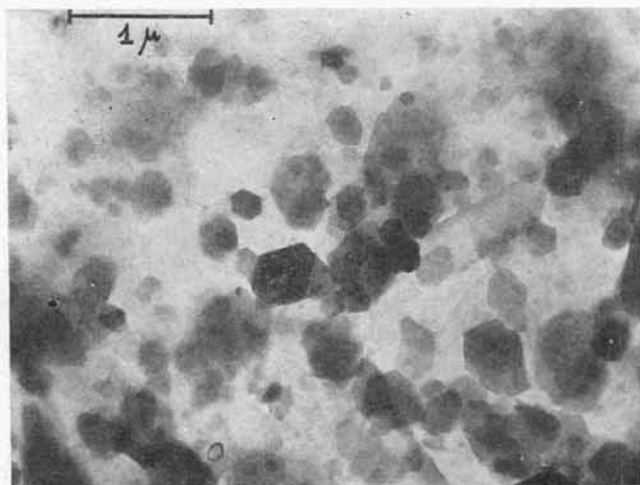


FIG. 113.—Microfotografía electrónica del caolín de Vegas de Matute. Aspecto general de las caolinitas.

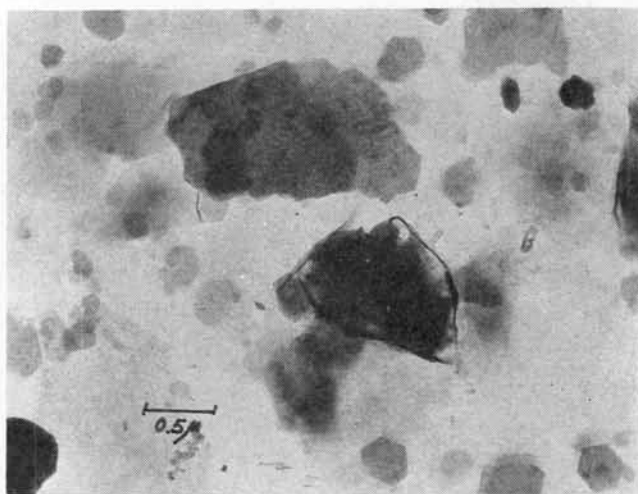


FIG. 114.—Micas, esmectitas y caolinitas del caolín de Vegas de Matute.



FIG. 115.—Roca madre del caolín de Vegas de Matute (granito orientado). Px.A., 3.2x8.

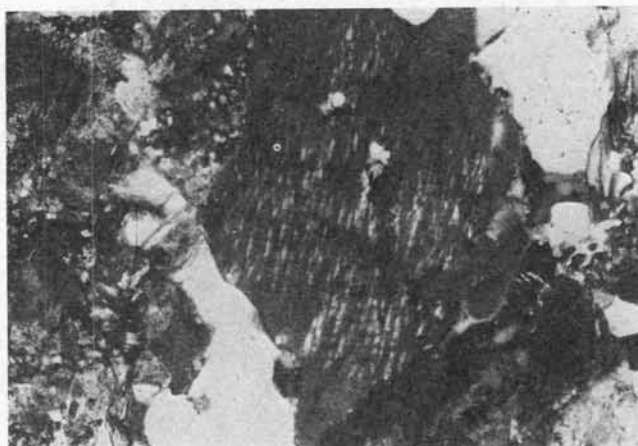


FIG. 116.—Feldespatos de desmezcla. Px.A., 7.8x8.

ra 117), moscovita, zircón y óxidos de hierro. Todos los feldespatos están alterados a minerales de la arcilla.

La roca puede definirse como un gneis o bien como un granito orientado como respuesta a un esfuerzo tectónico (en nuestro caso a la intrusión).

El análisis químico (tabla LVII) de la muestra VM-1 (total y < 2 μ) dan cuenta de las impurezas que presenta, especialmente en óxidos de hierro (en su mayor parte como geles) y en magnesio y potasio, debidos a la montmorillonita, mica y clorita. El porcentaje de



FIG. 117.—Clorita (alteración de biotita, con halos oscuros).

agua se corresponde muy bien con la cantidad de caolinita deducida por rayos X.

Discusión de los resultados. Genética

Todo el área gnéisico (o granítico orientado) se presenta caolinizado superficialmente por meteorización, y en el yacimiento ha habido un enriquecimiento local del tipo hidrotermal que ha afectado también a las capas Albenses (posiblemente Utrillas) que descansaban sobre los gneises. Los flúidos hidrotermales han caolinizado al nivel, posiblemente arcilloso (dada su riqueza en tamaños finos de partícula) en contacto con la masa granítica. Por encima se encuentra otro nivel de arcillas coloreadas separados por unas acumulaciones en algunos puntos de óxidos de hierro, debidos posiblemente a una concentración de los mismos desde el nivel inferior, por el lavado ascendente de esos flúidos.

Las capas de arenas caoliníferas que existen en la cima de esta serie anterior es un nivel normal dentro de la facies Utrillas, cuya caolinización es anterior a la caolinización hidrotermal que ha enriquecido el yacimiento.

La mayor riqueza en caolín se da por tanto en el nivel arcilloso blanco, que ya era caolinífero y la acción hidrotermal sólo contribuyó a transformar a los posibles feldespatos y a las micas que aún tuviera. (Esta mineralogía anterior recuerda a la de los niveles arcillosos de la facies Utrillas). El gneis caolinizado es menos rico en caolín y contiene aún feldespatos y micas.

La existencia constante de montmorillonita en los niveles caoliníferos indica que se ha debido formar posteriormente a la caolinización por la dificultad de un buen drenaje de la roca madre y la falta de pendiente.

La caolinización regional meteórica ha afectado a todas las rocas feldespáticas, aunque no ha sido tan profunda como para llegar a constituir criaderos residuales por sí solo, y únicamente en aquellos lugares en donde por tectonismos o por fenómenos de intrusión ha habido caolinización hidrotermal (como ocurrió también en el yacimiento de Otero de los Herreros), se dan depósitos explotables.

Datos económicos

Este yacimiento es explotado por la empresa Arcillas del Guadarrama, pero su producción no es muy

alta, ni su explotación es continua; en 1968 obtuvo sólo 6.280 Tm. El yacimiento, sin embargo, posee grandes reservas aunque la calidad del caolín no es muy buena debido a las impurezas de hierro (bien en geles o como pirita) y a la montmorillonita.

1.5. YACIMIENTOS ASOCIADOS A ROCAS VOLCANICAS.

1.5.1. ROCAS ÁCIDAS.

1.5.1.1. Provincia de Lugo (Foz, Mina "Sorpresa").

Situación geográfica y geológica

La mina "Sorpresa" pertenece al Grupo minero de E. C. E. S. A. Estos depósitos son conocidos en España y en el Mercado Internacional como yacimientos de Burela, puesto que muy cerca de ellos se encuentra el puerto y el cabo de ese nombre, pero las concesiones se extienden en su mayor parte por el término municipal de Foz, y el resto en Cervo. Las coordenadas geográficas medias del Grupo son: 3° 40' 20" W y 43° 40' 00" N. Constituyen uno de los yacimientos más importantes de España y quizás el más conocido internacionalmente. El acceso puede hacerse por mar al puerto de Burela, o por la carretera de Gijón a Ferrol.

Geológicamente, el yacimiento (fig. 84, parte VII *) está formado por la alteración de masas volcánicas ácidas de tipo felsítico, interestratificadas entre cuarcitas del Cámbrico inferior, como techo, y a veces como muro, areniscas del Precámbrico superior, o las mismas cuarcitas del techo. Son, por tanto, manifestaciones volcánicas que se pueden situar en el Precámbrico superior o Cámbrico inferior y que han sufrido posteriormente un metamorfismo regional de grado bajo por lo que presentan signos de linealidad. Las rocas del muro presentan a veces evidencia de metamorfismo hidrotermal como asimismo las del techo.

Descripción del yacimiento y de las muestras escogidas

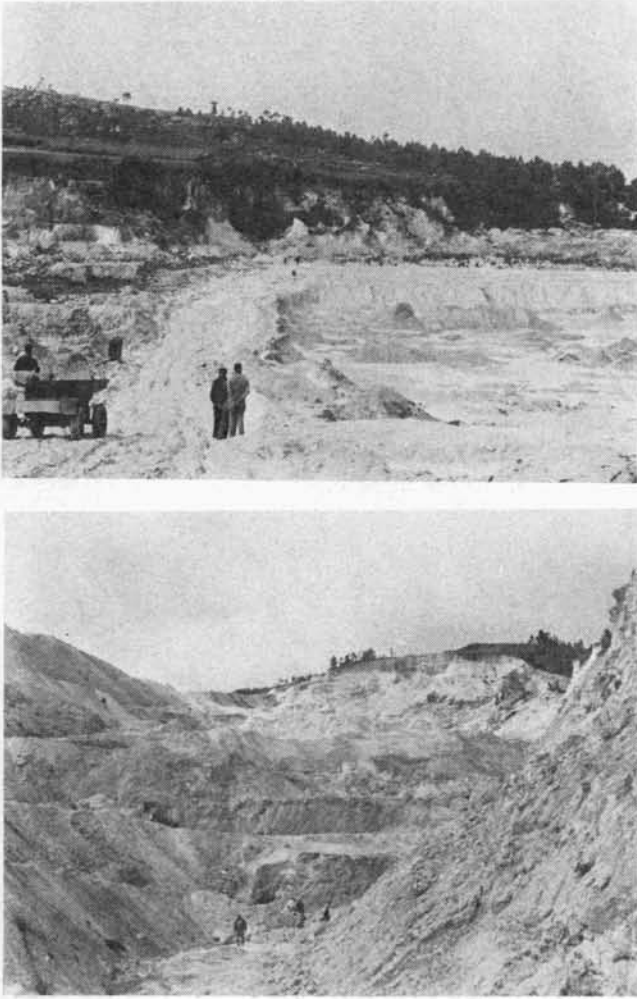
En la mina "Sorpresa" (fig. 118 a y b) el caolín aparece bajo unos bancos de cuarcita, presentando ciertas deformaciones en los contactos y algunos signos de metamorfismo en la roca encajante, especialmente en el muro constituido por areniscas. El caolín buza suavemente siguiendo prácticamente la superficie topográfica, aunque algunos grados menos que ésta y por ello en los cerros, el caolín se encuentra a mayor profundidad que en los pequeños valles.

La profundidad a que puede encontrarse el caolín varía desde los 8 a los 40 m.

Las muestras estudiadas para este trabajo son las siguientes:

- Caolín bruto (B₁).
- Roca del muro (B₂).
- Caolín de venas rosadas que atraviesan la masa caolinífera (B₃).
- Roca del techo (B₄).
- Caolín bruto de otro frente distinto al de B₁ (B₅).

(*) Parte VII. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 14 (1975), 2, 123-144.



FIGS. 118 a y b.—Yacimiento de Burela. Frentes de explotación en la mina "Sorpresa".

Resultados experimentales

La granulometría de las muestras de caolín es la siguiente:

TABLA LIX
ANÁLISIS MECÁNICO DEL CAOLIN DE BURELA

	> 200 μ	200-20 μ	20-2 μ	< 2 μ	Total
B ₁	0,00	42,59	41,00	17,20	100,79
B ₃	13,13	32,31	42,75	11,30	99,49
B ₅	0,50	55,39	37,25	8,50	101,64

La roca del techo (B₁) es una cuarcita mientras que la del muro (B₂) es una arenisca, cuya granulometría es:

Fracción	%
> 200 μ	34,97
200-20 μ	51,18
20-2 μ	10,50
< 2 μ	1,55
Total	98,20

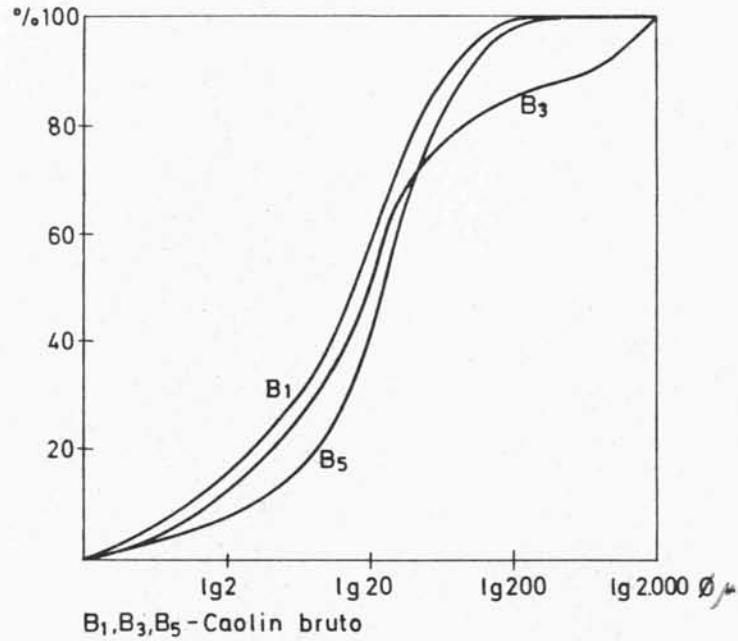


FIG. 119.—Curvas granulométricas acumulativas del caolín bruto de Burela.

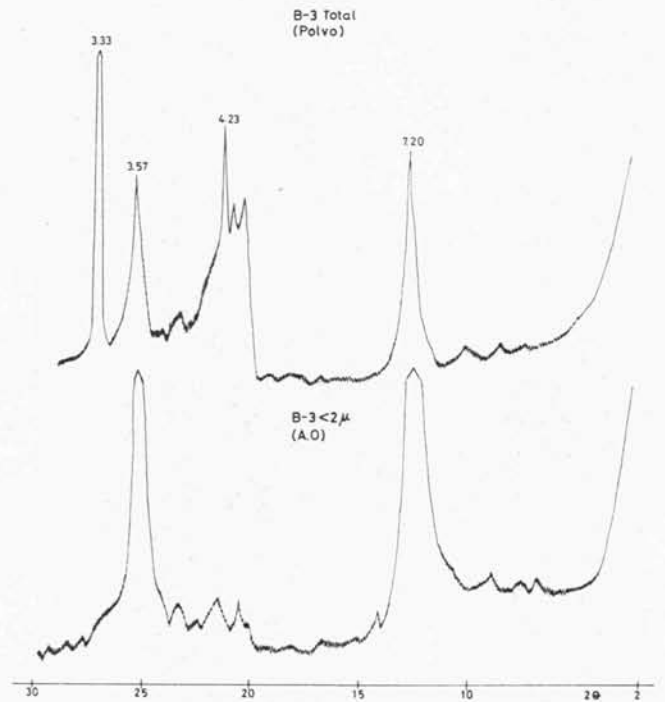


FIG. 120.—Difractogramas del caolín de Burela.

La figura 120 recoge las curvas acumulativas de estos análisis. La composición mineralógica de las muestras de caolín deducida por difracción de rayos X (figura 121) es la siguiente: la principal kandita es la metahalosita, especialmente en las fracciones finas, pudiendo llegar a ser el único mineral del caolín presente, le acompañan halosita y caolinita desordenada. Las micas están en muy pequeña proporción y mal cristalizadas.

Al microscopio electrónico las fracciones < 2 μ de las muestras de caolín presentan gran cantidad de halosita en sentido lato, la mayor parte en formas de cartuchos o de tubos cortos semidesenrollados y aglo-

TABLA LX
COMPOSICION MINERALOGICA DEL CAOLIN DE BURELA

	Q	Feld. K	K+MH+Ha	I	Ctros
B ₁ total	30	—	55	15	—
2-20 μ	20	—	60	20	Mo
< 2 μ	< 5	—	95	< 5	Cl, Mo
B ₂ total	35	45	10	10	—
B ₃ total	30	—	70	ind.	—
< 2 μ	—	—	100	ind.	Cl
B ₅ total	40	—	50	10	—
2-20 μ	30	—	60	10	—
< 2 μ	< 5	—	90	5	Cl

merados (fig. 121) (posiblemente son metahaloisitas); en mucha menor cantidad existen tubos alargados y cerrados. Junto a las haloisitas existen algunos cristales de caolinitas, con buena morfología unos (fig. 122), o subredondeados otros. Como minoritarios se observan micas y feldespatos alterados y alófanas en transición a haloisita. El promedio de los tamaños de las caolinitas y haloisitas varía de una muestra a otra, pero en general es pequeño (< 0,5 μ).

El tipo de haloisita predominante es la metahaloisita, puesto que en los diagramas de ATD (tabla LXI) de las fracciones < 2 μ de los caolines, el endotérmico a baja temperatura sólo es una pequeña insinuación, y el endotérmico principal, salvo en la muestra B₅ que es la que mayor cantidad de haloisita tubular contiene, es estrecho y agudo. En todas las muestras la asimetría de este endotérmico es más propia de haloisita en sentido lato que de una caolinita (razones dependientes próximas a 2).

El porcentaje de kanditas deducido por esta técnica para las fracciones < 2 μ es el siguiente:

- B₁: 100 %.
- B₃: 90 %.
- B₅: 65 %.

La muestra B₅ presenta una diferencia notable con la proporción de kanditas deducida por difracción de rayos X ya que la excesiva anchura del endotérmico,

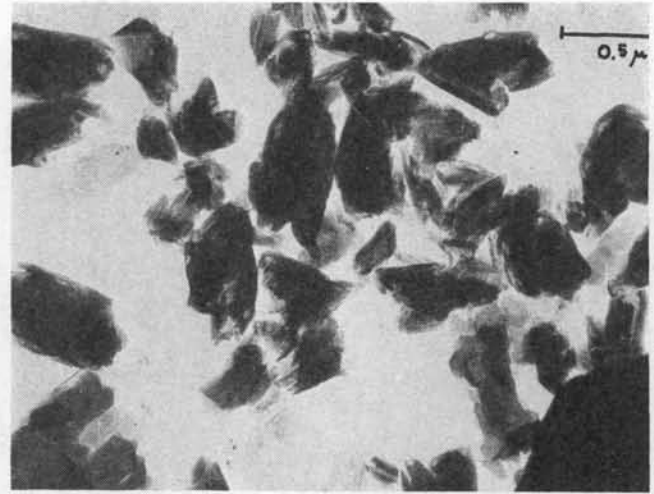


FIG. 121.—Microfotografía electrónica del caolín de Burela. Cristales de haloisita.

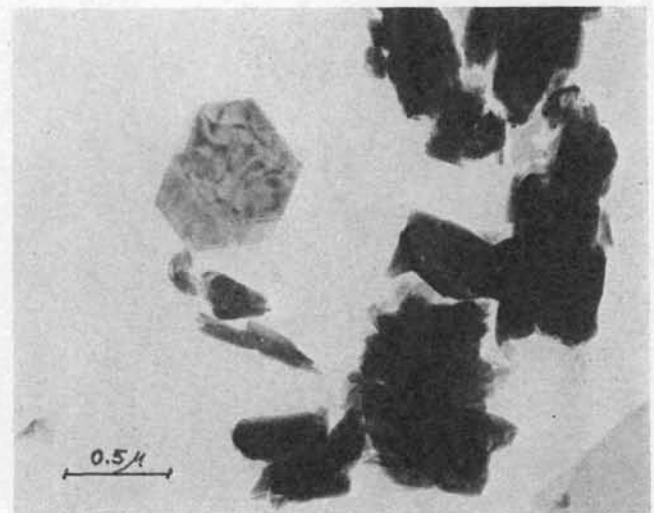


FIG. 122.—Microfotografía electrónica del caolín de Burela. Cristales de haloisita y de caolinita.

debida a la notable presencia de haloisitas, falsea los cálculos del porcentaje de kanditas totales por el método empleado que sólo es válido para caolinitas y metahaloisita.

Las arenas de las muestras de caolín están constituidas sólo por granos de cuarzo heterométricos y con extinción ondulante y por algunos cristales de mica.

TABLA LXI
CARACTERISTICAS DE LAS CURVAS DE ATD
(Muestras asociadas a rocas volcánicas)

Muestra	T° C	A	W	R _D	% K
B ₁	593, 951	242	14,5	2	100
B ₃	590, 942	207	14	2	90
B ₅	585, 950	179	18	2,6	65
Puerto Velate	645, 840, 860	—	—	—	—
Ciga	150, 710, 645, 840, 860	—	—	—	—

A = Area endotérmica a 600° C.
W = Anchura a la mitad de la altura.
R_D = Razón dependientes.

A.T.D. MUESTRAS ASOCIADAS A ROCAS VOLCÁNICAS

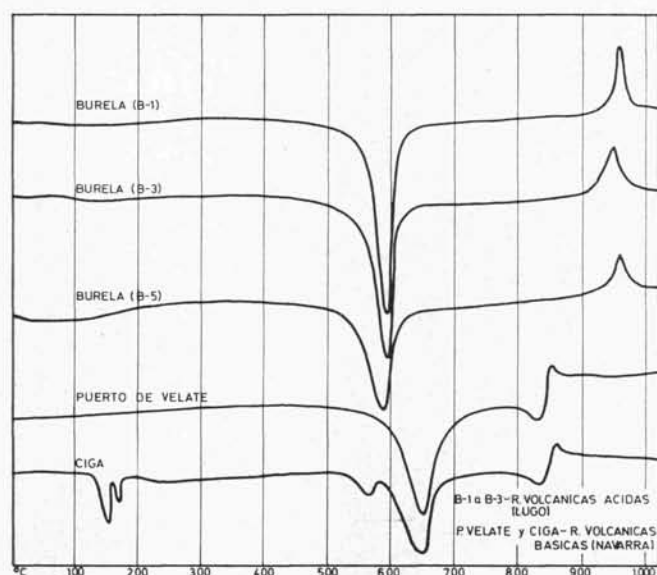


FIG. 123.

La roca B_1 es una cuarcita sin nada notable que destacar, y la muestra B_2 (fig. 124), correspondiente al muro del caolín, puede considerarse una arcosa puesto que su mineralogía es cuarzo, feldespatos (ortosa y microclina), mirmequita, biotita alterada a clorita, clorita y moscovita.

Se han efectuado los siguientes análisis químicos:

	B_1 total %	$B_1 < 2\mu$ %	$B_2 < 2\mu$ %
SiO ₂	59,66	48,38	50,54
Al ₂ O ₃	24,54	36,15	33,73
Fe ₂ O ₃ + FeO	1,12	1,03	1,28
MgO	3,00	0,20	0,73
CaO	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	0,00	0,25	0,37
Na ₂ O	0,44	0,25	0,38
K ₂ O	1,68	0,19	0,48
Pérdida a 1.000° C ...	9,45	14,25	13,28
	99,89	100,70	100,79
H ₂ O	0,31	0,87	14,47
Color a 1.000° C ...	blanco	blanco	blanco

El análisis químico de la muestra B_2 responde, en relación con la B_1 , a su menor riqueza en kanditas y llama la atención la enorme pérdida de agua que se obtiene calentando a 110°, lo que nos confirma lo antes dicho sobre la diferencia entre esta muestra y las otras de caolín, en relación a la haloisita. Esto es: la mayor parte de las kanditas de la muestra B_2 es originalmente haloisita hidratada que pasa con facilidad a metahaloisita, mineral dominante en las demás muestras de caolín.

Los porcentajes de H₂O de constitución son altos, y evidencian la presencia de kanditas hidratadas parcialmente, teniendo en cuenta los porcentajes deducidos de kanditas por las demás técnicas.

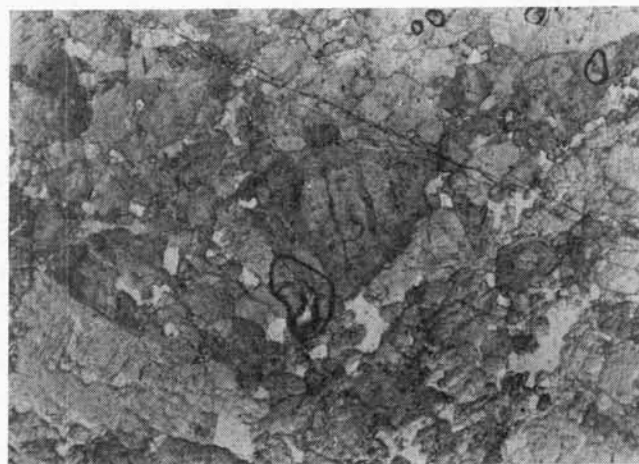


FIG. 124.—Aspecto al microscopio de polarización de la roca de muro (arcosa) del caolín de Burela. PxA., 3.2x8.

Discusión de los resultados. Genética

Como relacionamos en el capítulo anterior al referirnos a este yacimiento, existen varios trabajos de índole mineralógico y técnico, pero sólo se refiere a su genética el de Köster (157) (*) quien se apoya en el estudio geoquímico.

Los análisis químicos que aportan Alexandre y García Verduch (159) (*), Gómez de Ruimonte (162) (*) y Köster (158) (*) coinciden en esencia con los obtenidos por nosotros. Por el contrario, los escasos datos mineralógicos ya no suelen coincidir de un autor a otro. Así, Alexandre y Sánchez Conde (172) (**) estudiando muestras por microscopía electrónica las definen como caoliníticas, de acuerdo además con Alexandre y García Verduch (159); sin embargo, la microfotografía que publican es típica de la haloisita (posiblemente metahaloisita), descrita por nosotros, en formas de cartuchos semienrollados. La composición mineralógica obtenida por Gómez de Ruimonte (162) es: 18-20 % de cuarzo, pequeñas cantidades de feldespatos y el resto caolinita.

Köster (158) obtiene para el caolín de Burela la siguiente composición mineralógica:

80,6 % de caolinita
9,7 % de moscovita
0,5 % de feldespatos
0,2 % de cuarzo
0,1 % de otros.

Debe corresponder al caolín lavado. Para la fracción $< 2\mu$ es de 97 % de caolinita y el resto cuarzo y moscovita. Esta composición está de acuerdo con la obtenida por nosotros, más aún cuando la kandita más abundante que encuentra es la haloisita. En cuanto a su genética parece lógica la hipótesis de alteración *in situ* comprobada geoquímicamente por Köster (157), pero también es posible en parte una alteración debida a fenómenos de autometamorfismo. Hay pruebas en la roca encajante del muro de la alteración hidrotermal debida al contacto con la masa volcánica en su deposición o en su intrusión. La alteración de estas

(*) Parte III. Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr., 12 (1973), 6, 333-340.

(**) Parte V. Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr., 13 (1974), 5, 395-406.

rocas ácidas felsíticas puede ser en parte submarina, mediante el proceso que hemos llamado de autometamorfismo, pero en gran parte parece resultado de un proceso meteórico (véase además lo discutido en la parte III (*) sobre la génesis de estos caolines de Burela).

En la caolinización han debido transformarse los feldspatos de la felsita en kanditas mediante una fase intermedia amorfa, dando así minerales del caolín hidratados y caolinita desordenada, incluso Köster (158) encuentra en una muestra, óxidos de aluminio.

La baja proporción de mica junto con el tipo de kandita no hace pensar en la caolinización vía mica.

Datos económicos

Las minas de Burela (Foz y Cervo), forman un Grupo minero de ocho minas propiedad de E. C. E. S. A. (Madrid), con extensión superior a las 300 Ha., aunque la mayor parte improductiva. Sus reservas son del orden de los 2 millones de Tm., y la explotación se lleva a cabo por métodos modernos totalmente mecanizados. El rendimiento del caolín es del 50 % y la producción actual es del orden de las 65.000 Tm. El caolín es exportado en su mayor parte.

1.5.2. ROCAS BÁSICAS.

1.5.2.1. Provincias de Guipúzcoa y Navarra.

Como ya indicamos en la parte III (*) de este trabajo, no son yacimientos de caolín los que en este apartado estudiamos, sino yacimientos cloríticos que han sido dados desde hace muchos años como de caolín. Para deshacer este error presentamos un breve estudio de los principales afloramientos explotados, agrupándolos conjuntamente puesto que sus características mineralógicas y genéticas lo permiten. Merecen sin duda un posterior estudio más detallado dada su complejidad genética.

Situación geográfica y geológica

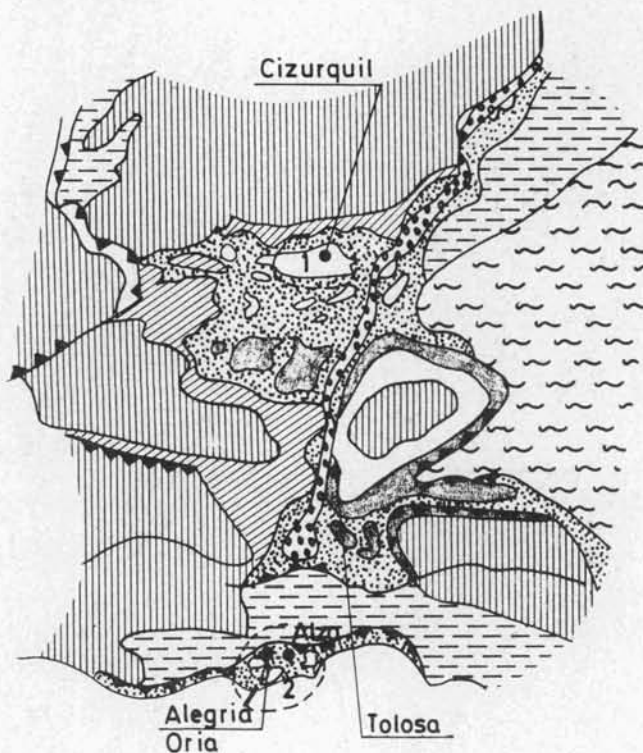
Descripción de los yacimientos

Los yacimientos estudiados están localizados en la provincia de Guipúzcoa (Cizurquil y Alegría Oria) y en la provincia de Navarra (Puerto de Velate y Ciga).



FIG. 125.—Yacimiento de Cizurquil (Guipúzcoa).

El yacimiento de Cizurquil se halla frente a la desviación a Cizurquil de la carretera de Villabona a Uno. Sus coordenadas geográficas son: 1° 37' E y 43° 11' 15" N. Está compuesto por las tres minas, "San Juan", "San José" y "María Dolores", con una extensión aproximada de 70 Ha. La figura 125 presenta un aspecto de la mina "San Juan". La masa explotada tiene una extensión aproximada en dirección E-W de un Km. y medio, y en profundidad, al menos en 20 m. se continúa con las mismas características que en superficie (según sondeos). La masa presenta un color pardo-verdoso en superficie que se convierte en blanquecino interiormente.



- ① YACIMIENTO DE CIZURQUIL
- ② YACIMIENTO DE ALEGRIA ORIA Y ALZO

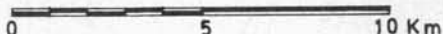
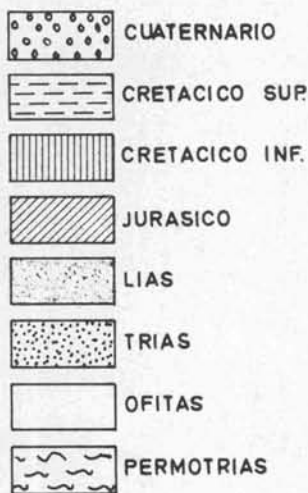


FIG. 126.—Esquema geológico de los alrededores de Cizurquil y Alegría Oria (Guipúzcoa) (210).

(*) Parte III. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 12 (1973), 6, 333-340.



FIG. 127.—Yacimiento de Ciga (Navarra).

Geológicamente (fig. 126) (210) nos encontramos ante una masa de rocas volcánicas ofíticas entre las margas del Keuper, con facies típicas de colores abigarrados y con filoncillos de yeso.

El yacimiento de Alegría Oria, coordenadas $1^{\circ} 35' 50''$ E y $43^{\circ} 05' 30''$ W, situado algunos Km al S del anterior, se presenta en condiciones geológicas similares. Se trata también de unas masas de rocas ofíticas del Keuper que afloran por contacto tectónico. Sin embargo, la explotación en este caso no es a cielo abierto como en Cizurquil, sino subterráneamente, mediante pequeños pozos, debido a la abrupta topografía y a la plasticidad de las margas que recubren a las ofitas, que apenas permiten mantener un frente de explotación en cantera. Han existido explotaciones en Alzo y en Alegría Oria, ambas situadas en la desviación de

la carretera general núm. 1 a Alzo, pero están actualmente paradas, desde hace unos cinco años.

Los yacimientos de Navarra situados en el Valle de Baztan (Elizondo, Berroeta, Ciga, Puerto de Velate, Ezcurra, etc.) son también masas ofíticas alteradas del Keuper que afloran la mayor parte por contacto tectónico, pero la difícil topografía y los grandes recubrimientos edáficos y vegetales hacen difícil la búsqueda de estas masas y, por tanto, los yacimientos en explotación no son grandes.

Los dos yacimientos que estudiamos aquí se hallan situados en el Puerto de Velate (área de Elizondo) y en Ciga (fig. 127) ambos en explotación actual intermitente. Sus coordenadas geográficas son, respectivamente: $2^{\circ} 3' 20''$ E y $43^{\circ} 3' N$, y $2^{\circ} 6' 50''$ E y $43^{\circ} 53' 50'' N$.

Para el estudio de estos yacimientos hemos tomado una muestra del material bruto y otra del lavado, salvo en el caso de Alegría Oria que como ya dijimos no está en explotación actual y sólo estudiaremos el "caolín bruto". En Ciga hemos tomado también una muestra de lo que podemos considerar la roca madre no profundamente alterada.

Resultados experimentales

Los resultados de los análisis mecánicos de los materiales de estos yacimientos se recogen en la tabla LXII y sus curvas acumulativas en la figura 128. La composición mineralógica por difracción de rayos X (figura 129) se presenta en la tabla LXIII.

Al microscopio electrónico, estas muestras presentan una mineralogía similar en conjunto. Los minerales mayoritarios son: micas con bordes subredondeados, cloritas heterométricas de formas rómbicas (del orden de la micra), vidrio silíceo, sales (posiblemente yeso) y carbonatos (no siempre presentes). Sólo en el yacimiento de Cizurquil se han observado algunos cristales que parecen de haloisita (fig. 130). Las figuras 131 y 132 también pertenecen a este yacimiento donde se pueden apreciar la morfología de las micas y cloritas. La figura 133 muestra un aspecto idéntico del yacimiento de Ciga.

El estudio por ATD (fig. 123, tabla LXI) del material de Ciga y Puerto de Velate evidencian la presencia de clorita en gran cantidad (endotérmico a 650° y endoexo $\approx 850^{\circ}$) y en Ciga además se observa el yeso (doble endotérmico a baja temperatura) y una pequeña cantidad de kandita, posiblemente caolinita (endotérmico $\approx 550^{\circ}$).

TABLA LXII
ANÁLISIS MECANICOS DE GUIPUZCOA Y NAVARRA

	> 200 μ	200-20 μ	20-2 μ	< 2 μ	Total
Cizurquil bruto	23,60	30,81	26,70	19,90	101,01
Cizurquil lavado	31,74	29,17	13,85	24,71	99,47
Aleg. Oria bruto	12,80	17,98	44,80	24,75	100,33
P. Velate bruto	10,51	26,94	45,95	18,31	101,71
P. Velate lavado	2,20	4,02	59,45	35,50	101,17
Ciga bruto	14,38	24,55	44,75	17,00	100,68
Ciga lavado	2,25	4,16	49,55	43,45	99,41

TABLA LXIII
COMPOSICION MINERALOGICA DE MATERIALES DE GUIPUZCOA Y NAVARRA

	Q	Feld	M	Cl	Y	Anh	T	Ca	Otros
Cizurquil bruto	50	15	15	15	—	—	—	ind.	Anf.
2-20 μ	30	5	25	40	—	—	—	—	Int. (I-Cl)
< 2 μ	—	—	35	65	—	—	—	—	—
Cizurquil lavado	15	5	35	35	—	—	—	10	—
< 2 μ	—	—	40	60	—	—	—	—	—
Alegria bruto	—	—	10	50	ind.	35	5	—	—
< 2 μ	—	—	10	60	—	30	—	—	—
P. Velate bruto	10	ind.	5	25	60	—	—	—	—
20-2 μ	ind.	ind.	ind.	95	—	—	—	—	—
< 2 μ	—	—	—	100	—	—	—	—	—
P. Velate lavado	10	—	25	40	10-15	10-15	—	—	—
< 2 μ	—	—	20	80	—	—	—	—	—
Ciga bruto	15	—	25	30	30	—	—	—	K
< 2 μ	—	—	30	70	—	—	—	—	—
Ciga lavado	15	—	20	55	10	—	—	—	—
< 2 μ	5	—	30	50	15	—	—	—	—
Ciga (R. madre)	< 5	—	30	20	40	—	10	—	—

Y = yeso; Anh = anhidrita; T = talco; Ca = calcita; Anf = anfíboles.

Al microscopio de polarización la muestra correspondiente a la roca madre del yacimiento de Ciga, presenta la siguiente composición mineralógica: moscovita, clorita, en parte de alteración de biotita y en parte autigénica, talco, enstatita, magnesita y cuarzo.

La magnesita se halla fracturada y los planos de fracturas se han rellenado de moscovita. El talco se encuentra también rellenando espacios que nos recuerdan cristales anteriores, parece una pseudomorfosis de

CURVAS ACUMULATIVAS DEL MATERIAL DE GUIPUZCOA Y NAVARRA

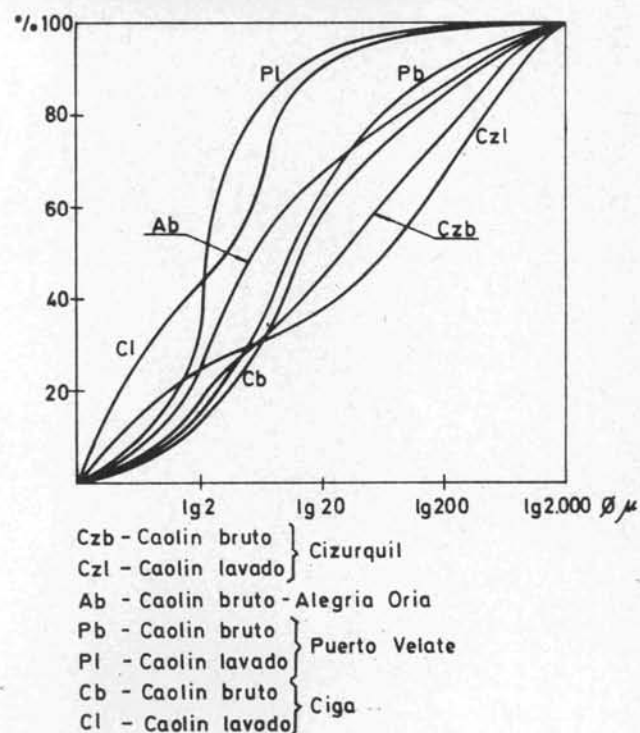


FIG. 128.

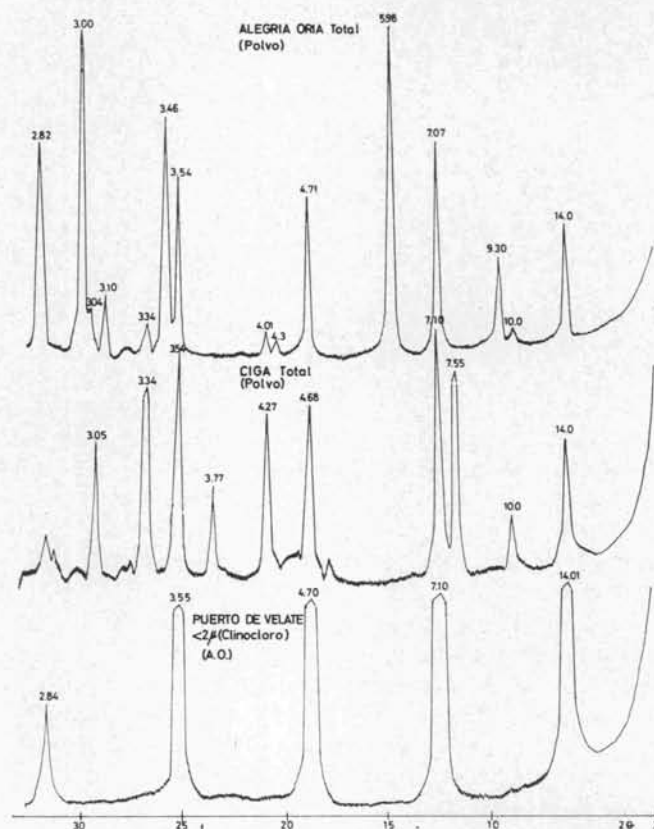


FIG. 129.—Algunos difractogramas correspondientes a los materiales explotados en Alegria Oria, Ciga y Puerto de Velate.

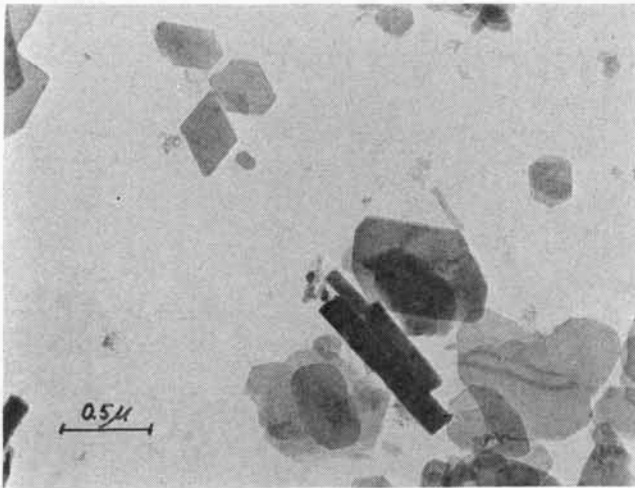


FIG. 130.—Micas, cloritas y haloisitas en el material explotado en Cizurquil.

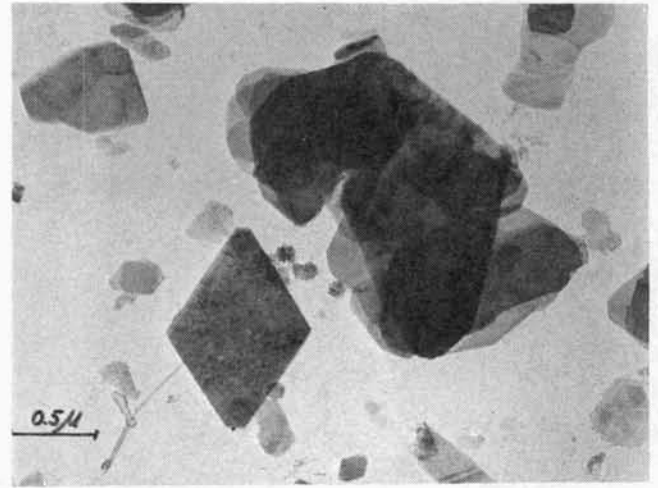


FIG. 131.—Aspecto de las cloritas pseudorrómbicas y de las micas en el material de Cizurquil.

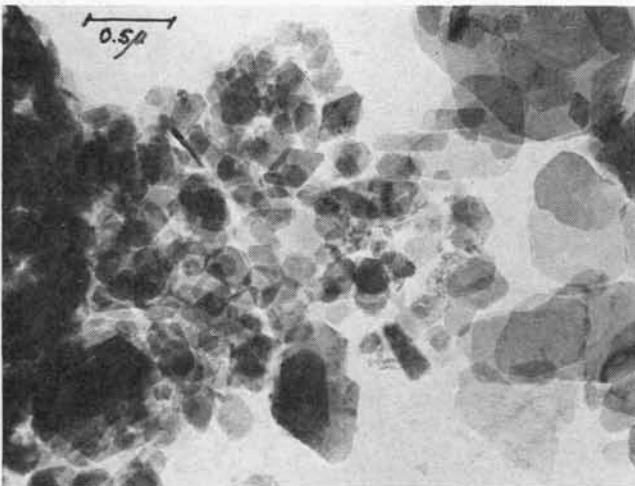


FIG. 132.—Aspecto general del material de Cizurquil al microscopio electrónico. Los cristales de clorita y micas son los dominantes.

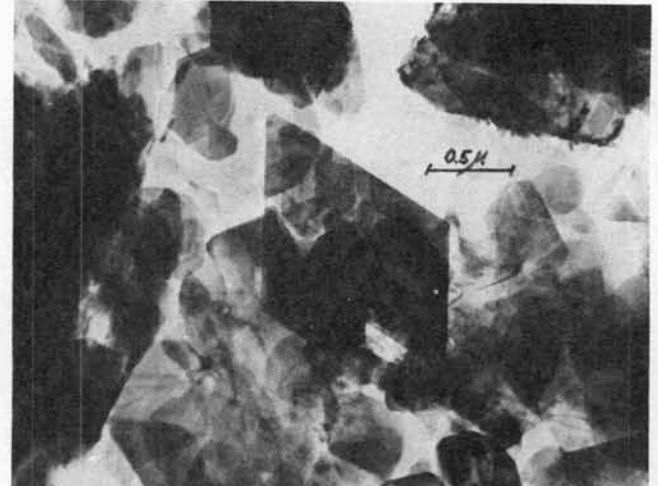


FIG. 133.—Aspecto general del material de Ciga, con características análogas al de Cizurquil.

ciertos minerales, por talco, como resultado de un metasomatismo. El último mineral incorporado a la roca es el cuarzo que presenta además los bordes ligeramente corroídos, como habiendo reaccionado con algunos de los minerales con los que está en contacto.

Puesto que la roca parece haber estado afectada por fenómenos de metamorfismo, no se puede reconocer en ella las características de una ofita, bien por esta causa o porque originalmente no lo fuera, ya que sabemos que de un modo general se les suelen llamar, en el campo, ofitas, a estas rocas del Keuper, aunque a veces su naturaleza, aun siendo básica, no responda a tal denominación.

Para confirmar la mineralogía, fundamentalmente cloro-moscovítica de los yacimientos anteriores se han realizado algunos análisis químicos (tabla 63) en los que puede observarse el alto contenido en magnesio, hierro, potasio y calcio (debido principalmente al yeso) y el bajo porcentaje relativo del aluminio.

Se ha analizado la fracción arcilla de la muestra natural del Puerto de Velate que mineralógicamente está constituida sólo por clorita, obteniéndose así un análisis de un mineral puro, concretamente de una clorita

TABLA LXIV

ANÁLISIS QUÍMICO GUIPUZCOA Y NAVARRA

	Cizurquil lavado	Ciga bruto	Ciga lavado	Puerto Velate < 2 μ
SiO ₂	45,26	47,20	33,15	30,60
Al ₂ O ₃	22,09	12,99	16,42	19,87
Fe ₂ O ₃ + FeO .	11,59	5,17	4,38	5,95
MgO	5,84	16,55	21,25	31,25
CaO	1,02	5,47	7,51	0,28
TiO ₂	0,76	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,75	0,00	0,00	0,22
K ₂ O	1,75	2,68	3,16	0,00
Pérdida a 1.000° C... ..	11,00	10,02	14,03	11,91
Total	100,06	100,08	99,90	100,08
H ₂ O ⁻	5,21	3,27	9,78	—
Color calentado a 1.000° C.	rojo	naranja	rosado	—

tipo clinocloro, como deducimos en la parte I (*) de este trabajo.

Las cloritas de Cizurquil son algo más ricas en hierro que las de Navarra, que son fundamentalmente magnésicas.

Discusión de los resultados. Genética

La genética de estos yacimientos cloríticos es complicada y, posiblemente, con los datos que poseemos, no se puede dar una hipótesis definitiva, por ello, y teniendo en cuenta que de momento el estudio de estos depósitos cae fuera de nuestro proyecto de trabajo, daremos sólo una ligera idea de cuáles pueden ser las causas de su formación.

Las rocas madre son rocas volcánicas básicas que se han debido alterar, y con mayor seguridad en los yacimientos de Navarra, por un metasomatismo magnésico que ha producido *sustitución* de algunos minerales por talco y neoformación de magnesita y quizás de piroxenos magnesianos. Posteriormente, la alteración meteórica ha cloritizado a las biotitas, piroxenos y talco, y sericitizado a los feldespatos (y, a veces, caolinizado). Ha habido una silicificación posterior que en parte ha dado cuarzo, geles de sílice y que ha reaccionado con algunos minerales magnesianos dando también clorita.

El contenido en yeso es propio de las margas yesíferas del Keuper con las cuales se depositaron y mezclaron las efusiones volcánicas, y a veces, inyectándose en ellas el yeso en forma de filoncillos, posiblemente por efectos tectónicos.

Datos económicos

De los yacimientos en explotación se obtiene un material al que llaman "caolín" de naturaleza ferro-magnésica aunque con gran contenido en Al_2O_3 que usan en la industria papelera, en pesticidas y en industrias similares. De las minas del Valle de Baztan se obtienen unas 6.000 Tm al año y de Cizurquil unas 2.000 Tm, lavándose el material en Elizondo y Cizurquil respectivamente. Los procedimientos de explotación son medianos, estando mejor mecanizadas las minas de Navarra.

2. TIPOLOGIA DE LOS DEPOSITOS ESPAÑOLES DE CAOLIN. CLASIFICACION.

2.1. INTRODUCCION

Resulta obvio, teniendo en cuenta el estudio que precede, que desde el punto de vista del ambiente genético, se pueden clasificar a los yacimientos españoles de caolín en tres grupos: Sedimentarios, hidrotermales y meteóricos. Sin embargo, a esta fácil clasificación no se adaptarían la mayor parte de los depósitos, puesto que en la naturaleza los procesos genéticos se superponen con frecuencia y es imposible a veces el diferenciarlos claramente. Por ello se ha pensado en suponer distintos grupos de condiciones ideales, condiciones tipos, bajo las cuales encuadrar a una serie de depósitos que respondan en líneas generales a

esas condiciones. Para definir el tipo se ha elegido un yacimiento, o una región en donde se presentan los depósitos con las características más próximas a las supuestas ideales.

La elección de las condiciones tipos ha estado condicionada a los resultados del estudio sistemático efectuado anteriormente, y por ello no se han supuesto circunstancias no existentes entre los depósitos españoles, para que no hubieran tipos sin representantes.

Los variables esenciales que sirven como base a la clasificación han sido: el ambiente genético fundamental, la naturaleza de la roca madre y la edad de la caolinización, en aquellos casos que se ha podido determinar.

En varias ocasiones ha sido necesario el subdividir los tipos considerados en base, a características específicas de tipo mineralógico y químico, a procesos genéticos secundarios superpuestos al fundamental, a litologías y edades de las rocas madre, etc.

2.2. TIPOLOGIA

Se han establecido de acuerdo con los criterios anteriormente expuestos, seis tipos de depósitos (tabla LXV).

Tipo I.—Tipo Cordillera Ibérica, agrupa a los yacimientos sedimentarios que se presentan en el Cretácico inferior y que alcanzan su máxima representación en el Centro y Este de la Cordillera Ibérica. Se han formado en un área fuente Hercínico y Prehercínico constituido por rocas ácidas fundamentalmente graníticas s. l. y gnéicas. El origen del caolín es esencialmente residual formado durante etapas biotásticas y erosionado y transportado durante etapas rextásticas. El ambiente actual es sedimentario, pero el origen es residual, aunque los procesos de caolinización de los materiales erosionados prosiguieron con menor intensidad en el área de deposición.

Estos depósitos aparecen en forma de niveles arenosos de potencia variable y granulometría grosera, alternando rítmicamente con niveles limosos de menor potencia y a veces con lechos carbonosos.

En función de la posición estratigráfica de los sedimentos se pueden distinguir dos subtipos: el "Wealdense" y el "Utrillas". Ambos poseen una mineralogía similar pero la caolinita es más ordenada, de mayor simetría y mayor tamaño de partícula en el subtipo "Utrillas".

Algunas diferencias con las características mineralógicas, granulométricas y químicas generales del subtipo pueden servir para distinguir "variedades" dentro de ellos. Así en el subtipo "Wealdense" existe la variedad "Villar del Arzobispo", caracterizada por la ausencia de feldespatos. En el subtipo "Utrillas" se puede distinguir la variedad "Teruel" que aparece ampliamente representada en el norte de la provincia de Teruel, y que se caracteriza por un menor tamaño de partícula de los sedimentos, una mayor regularidad y tamaño de las caolinitas y por la presencia de geles de óxidos e hidróxidos de aluminio que les da en ciertos casos carácter bauxítico.

El subtipo "Wealdense" está ampliamente representado en la provincia de Valencia, mientras que el subtipo "Utrillas" lo es en Cuenca y Teruel.

(*) Parte I. *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 12 (1973), 2, 79-98.

TABLA LXV

Grupo	Tipo	Edad, Roca madre y Génesis	Subtipos (ejemplo)	Principales localidades
A	I Cordillera Ibérica.	CRETACICO INFERIOR Sedimentario a partir de etapas bio-resistásicas desarrolladas sobre rocas ácidas Hercínicas y Prehercínicas.	Wealdense (Higueruelas)	Valencia
			Utrillas (Carboneras)	Cuenca Teruel
	II Asturias.	PALEOZOICO Sedimentario. Enriquecimiento secundario por meteorización y a veces por acción hidrotermal.	Sierra del Pedroso (Grado)	Asturias
			Sierra Morena (Monterrubio)	Badajoz
			Córdoba (Hinojosa del Duque)	Córdoba
	III Pontevedra.	NEOGENO Y CUATERNARIO Sedimentario, a partir de rocas ácidas Hercínicas y Prehercínicas, alteradas.	(Porriño-La Guardia)	Galicia Asturias
B	IV Lage.	ALPINOS Hidrotermal, <i>in situ</i> , con alguna meteorización sobrepuesta, desarrollados en rocas Hercínicas y Alpinas.	La Coruña (Lage)	La Coruña Lugo
			Toledo (San Martín)	Toledo La Coruña
			Segovia (Vegas de Matute)	Segovia-Lugo La Coruña
C	V Paraños.	<i>In situ</i> sobre rocas graníticas y gnéissicas por meteorización.	Paraños	Galicia Mesetas Castellanas
	VI Burela	PALEOZOICO ANTIGUO Felsitas alteradas por acción autometamórfica y posterior meteorización.	(Burela)	Lugo

A = Sedimentarios; B = Hidrotermales; C = Meteóricos.

Tipo II.—Agrupamos en este segundo tipo que denominamos “Asturias” a todos los depósitos Paleozoicos (Ordovícicos, Silúricos y Devónicos) encontrados en facies pizarrosa cuya caolinita es normalmente heredada.

Pueden distinguirse tres subtipos de acuerdo con circunstancias genéticas secundarias y con las diferencias mineralógicas y químicas que se derivan de ellas.

El subtipo “Sierra del Pedroso” consiste en un nivel de caolín interestratificado en cuarcitas Armoricanas con un origen fundamentalmente heredado para la caolinita. Su potencia es inferior al metro y su corrida de varios kilómetros. Puede ser considerado un *flint clay*; es altamente aluminico y está impurificado por pirita y materia orgánica. Está ampliamente representado en Asturias y, por ser la región económicamente más importante de entre las que existe este subtipo, le da nombre al tipo.

El subtipo “Sierra Morena” consiste en extensas formaciones pizarrosas Ordovícicas, Silúricas y Devónicas en las que se ha producido un metamorfismo de grado bajo en general, y han sido fuertemente meteorizadas. La caolinita es en parte heredada y en parte neoformada *in situ* por meteorización. El porcentaje en caolinita es menor que en el subtipo anterior, así

como su importancia económica, y se han explotado sólo en algunos puntos del sur de Badajoz.

El subtipo “Córdoba” es parecido al anterior, pero está limitado únicamente a las zonas donde existen fracturas, intenso tectonismo, y las formaciones pizarrosas han estado sometidas a un metamorfismo local dirigido de grado medio, junto con la acción de flúidos hidrotermales, procedentes de las intrusiones graníticas próximas (o en general plutónicas ácidas o neutras). Es característico de estos depósitos la asociación sericita-pirofilita-caolinita, y aunque son altamente aluminicos se debe esencialmente al contenido en micas y pirofilita y no al de caolinita. Como el subtipo anterior no tiene interés económico.

Tipo III.—Son depósitos sedimentarios Neógenos y Cuaternarios, a veces de muy pequeña potencia, de carácter continental, procedentes de materiales caolinizados (de tipo meteórico o hidrotermal) de las rocas ácidas próximas, de edad Hercínica o Prehercínica. Se presentan como arenas caoliníferas o como arcillas refractarias y recuerdan a los depósitos del Tipo I. Son caolines altamente aluminicos que poseen gran cantidad de óxidos e hidróxidos de aluminio y como candidas, caolinitas y haloisitas. Se extienden por las cos-

tas gallega y asturiana, pero su mayor importancia económica y desarrollo lo presentan en Pontevedra, por lo que es ésta la denominación que se ha escogido para el tipo.

Tipo IV.—Agrupamos a los depósitos que tienen como ambiente genético fundamental el hidrotermal. Estos fenómenos hidrotermales (en aquellos casos que se han podido datar) se han producido durante la orogenia Alpina. Se presentan de forma masiva y concordantes con fracturas tectónicas. En todos ellos se han dado fenómenos de alteración meteórica aunque con muy diversos grados de intensidad. Hemos escogido a uno de los yacimientos más típicamente hidrotermales, en el que la acción meteórica es muy escasa, para nombrar a este IV tipo, el yacimiento de Lage.

Teniendo en cuenta el grado de acción meteórica que existe en el depósito y la naturaleza de la roca madre se pueden distinguir tres subtipos:

El subtipo "La Coruña", desarrollado en rocas graníticas o gnésicas sin apenas enriquecimiento meteórico. El subtipo "Toledo", desarrollado sobre pegmatitas y pórfidos, en el que puede existir una alta milonización que favorezca la acción meteórica sobrepuesta, y el subtipo "Segovia" en que la acción meteórica es de tanta importancia como la hidrotermal, pudiéndose considerar este último subtipo como intermedio entre el tipo IV y el tipo V (residual). Un ejemplo de este subtipo "Segovia" es el yacimiento estudiado de Vegas de Matute, que fue incluido como residual, si bien ya se advertía que podía estar tanto en ese grupo como en el de los hidrotermales.

Los subtipos "La Coruña" y "Toledo" poseen como kandita fundamental caolinita de gran tamaño, politipo próximo al T, buena simetría y haloisitas en cantidades minoritarias. Los caolines del subtipo "Segovia", menos refractarios que los anteriores y de mucha menor importancia económica, poseen caolinita intermedia entre pM-T y de menor tamaño.

Tipo V.—Está constituido por los depósitos típicamente residuales formados *in situ* bajo condiciones meteóricas sobre rocas ígneas y metamórficas ácidas.

Se presentan en el caso más extremo como un manto caolinífero no mayor de 8 m. de potencia, pero generalmente son menos potentes y su baja calidad, debida al carácter edáfico de la caolinización, y sus escasas reservas hacen prohibitivas sus explotaciones. Dada la escasez de yacimientos explotados, hemos escogido a Paraños, nombre correspondiente a una pequeña explotación, para denominar al tipo V.

Sin embargo, esta caolinización residual meteórica es muy abundante en las rocas ígneas del macizo Hespérico aunque no hayan sido explotadas. Sólo ha habido explotación en aquellos casos en que ciertas condiciones tectónicas o geomorfológicas hayan favorecido realmente la profundidad de la caolinización.

Poseen estos caolines, caolinita como kandita esencial y suele ser de pequeño tamaño y desordenada.

Tipo VI.—Agrupa los escasos yacimientos que existen en España sobre rocas volcánicas. El proceso genético fundamental caolinizante es meteórico *in situ*, sobre rocas volcánicas ácidas, que muy probablemente han sufrido un autometamorfismo hidrotermal al producirse la efusión submarina o la intrusión. Las kanditas esenciales de estos depósitos es la haloisita en distintos estados de hidratación y caolinita. Constituyen

depósitos económicamente muy importantes aunque son escasos. Al tipo VI se denomina "Burela" por ser éste el representante más significativo del mismo.

3. CONCLUSIONES

Los estudios geológicos y mineralógicos de los yacimientos españoles de caolín, hasta la fecha de iniciar nuestras investigaciones, han sido escasísimos, y no mucho más abundante los tecnológicos.

Como resultado del estudio geológico y mineralógico de cuarenta y tres formaciones de caolín de España, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

3.1. GEOLOGIA

1. Los yacimientos españoles de caolín se encuentran asociados a los niveles arenosos del Cretácico inferior de la Cordillera Ibérica; a los sedimentos arenosos continentales Neógenos y Cuaternarios, de las costas gallegas y asturianas; a los niveles pizarrosos Ordovícicos, Silúricos y Devónicos, de Asturias y Sierra Morena; a las rocas graníticas (s. l.), pegmatíticas y metamórficas ácidas, fundamentalmente de la región gallega y a las rocas volcánicas de tipo felsítico en la provincia de Lugo.

2. Las épocas de formación de caolín son fundamentalmente el Cretácico inferior, Mioceno, Cuaternario y el amplio período de la orogenia Alpina. Las caolinizaciones en los sedimentos Paleozoicos coinciden, en general, con las edades anteriores, aunque en algunos casos pueden ser anteordovícicos.

3. En relación con fracturas tectónicas, se han producido las concentraciones caoliníferas más importantes en las rocas graníticas (s. l.) y metamórficas ácidas.

3.2. GEOGRAFIA

4. La mayor parte de los yacimientos explotados se encuentran concentrados en dos grandes áreas geográficas:

- Región Asturgalaica (La Coruña, Lugo, Pontevedra y Oviedo).
- Región Levantina (Valencia, Cuenca y Teruel).

De la primera región, en Galicia, están representados fundamentalmente los yacimientos asociados a rocas ácidas (plutónicas, metamórficas y volcánicas), y los Neógenos y Cuaternarios, y en Asturias, los yacimientos Ordovícicos.

En la región Levantina, están representados únicamente los yacimientos Cretácicos. En la provincia de Valencia, sur de Castellón, este de Cuenca y sur de Teruel, los pertenecientes a la facies Wealdense, y en el norte de Teruel, centro y norte de Cuenca, sur de Guadalajara, norte y este de Soria, sur de Burgos, oeste y sur de Zaragoza, los yacimientos de facies Utrillas. Sin embargo, en éstos últimos, a veces no se puede distinguir, si además, está también representada la facies Wealdense.

Otros yacimientos de menor importancia, mucho más localizados, y con distintas genéticas, se encuentran en

Segovia, Toledo, Salamanca, Badajoz, Córdoba, León, etcétera.

3.3. MINERALOGIA

5. Para el estudio mineralógico se han utilizado las siguientes técnicas: difracción de rayos X, ATD, TG, microscopía electrónica, microscopía de polarización y análisis químico.

a) Para el análisis mineralógico semicuantitativo por difracción de rayos X se han determinado los siguientes poderes reflectantes relativos, no existentes previamente en la bibliografía.

Método del polvo

Respecto a la caolinita = 1, para la reflexión a 7 Å

Cuarzo a 3,33 Å	5
Pirofilita a 9,20 Å	2

Respecto a la haloisita = 1, para la reflexión a 7,2 Å, el cuarzo es 6, 5-7 (3,33 Å).

Método del agregado orientado

Respecto a la caolinita = 1, para la reflexión a 7 Å

Cuarzo a 3,33 Å	1
(Sólo válido para < 50 % de Q)	
Talco a 9,30 Å	2
Pirofilita a 9,20 Å	1,5
Clorita (clinocloro) a 14 Å ...	0,66

Respecto a la haloisita = 1, para la reflexión a 7,2 Å, el cuarzo (3,33 Å) es = 2. (Sólo válido para mezclas con < 50 % de Q.)

b) Se ha puesto a punto además, un procedimiento para determinación semicuantitativa de caolinita por ATD, basado en la relación "área/anchura media" para el endotérmico $\approx 600^\circ\text{C}$, que es función lineal del porcentaje de caolinita.

6. La composición mineralógica de los yacimientos estudiados es la siguiente:

Yacimientos Cretácicos: "caolinita (politipo intermedio pM-T), micas, ilita y cuarzo", como predominante, con "plagioclasas, montmorillonita e interestratificados (I-Mo) e (I-Cl)", como minoritarios.

Yacimientos Neógenos y Cuaternarios: "caolinita (pM), haloisita, cuarzo y feldespatos potásicos", predominantes, con "gibbsite, diásporo, montmorillonita, clorita, alófana, geles de aluminio, interestratificados (I-Mo)" como minoritarios.

Yacimientos Paleozoicos: contienen como fundamentales "caolinita (politipo variable), cuarzo, moscovita, sericita (a veces, cantidades notables de pirofilita)" y como minoritarios o accidentales, "feldespatos, clorita, montmorillonita, goethita, piritita e interestratificados (I-Mo)". (A veces materia orgánica.)

Yacimientos en rocas graníticas s. l., pegmatíticas y gnéicas ácidas: "caolinita y haloisita" como fundamentales, teniendo la caolinita un grado de ordenación dependiente del proceso genético, siendo de politipo T para los hidrotermales, y pM, o pM-T para los residuales por meteorización; como minoritarios "clo-

rita, montmorillonita, vermiculita, hematites e interestratificados (I-Cl) e (I-Mo).

Yacimientos en rocas volcánicas ácidas: "haloisita (normalmente metahaloesita) y cuarzo", como minoritarios, "caolinita, feldespatos potásicos, clorita, montmorillonita y geles de alumina".

7. El contenido en fracciones finas ($< 20 \mu$) es muy variable. Oscila entre el 5-40 % para los Cretácicos, siendo lo más frecuente el 10 %. En los Neógenos y Cuaternarios oscila entre el 30 y 50 %, en los Paleozoicos del 30-80 %, siendo los más frecuentes del 50-60 %. En los formados sobre rocas ígneas o metamórficas, oscila entre el 10-30 %, y los desarrollados a partir de rocas volcánicas, poseen un 50 %.

8. Los yacimientos de Navarra y Guipúzcoa, desarrollados sobre rocas volcánicas básicas (ofitas del Triás) no son depósitos de caolín, sino que el material explotado está compuesto de clorita (fundamentalmente magnésica), sericita y yeso; y como minerales minoritarios, talco anfíboles, magnesita y cuarzo.

3.4. GENESIS

9. Los yacimientos de la Cordillera Ibérica (facies Wealdense y Utrillas) se encuentran actualmente en un ambiente sedimentario. La mayor parte de la caolinita de los niveles arenosos (niveles explotables), como asimismo la existente en los niveles limo-arcillosos, es heredada.

Procede dicha caolinita de la alteración meteórica de las rocas graníticas s. l., gnéicas, etc., de carácter ácido, que formaron el área-fuente de estos sedimentos de la Cordillera Ibérica, la Cordillera Central, el Macizo Aragonés y la Sierra de la Demanda, fundamentalmente.

Los ciclotemas del Cretácico inferior, formados por niveles arenosos y limo-arcillosos (a veces con intercalaciones carbonosas), sugieren la existencia de etapas biotásticas en el área fuente, con formación de perfiles lateríticos, bajamente ferrolíticos, y posterior erosión durante etapas rextásticas. La repetición de estas etapas en el área fuente durante los tiempos Cretácicos dio lugar a los sedimentos caoliníferos de la Cordillera Ibérica.

10. Los sedimentos más ricos en caolinita y de mejor cristalinidad son los más altos en la serie estratigráfica, lo que demuestra la maduración general progresiva de los relieves del área fuente.

11. La caolinización de los materiales erosionados debió proseguir en la cuenca de deposición, a la par que se reordenaban y crecían los cristales de caolinita heredados.

12. En las áreas del Wealdense existen zonas empobrecidas en feldespatos que podemos suponer están formadas por los sedimentos más modernos.

13. Se pone de manifiesto la existencia frecuente en distintos niveles Wealdenses y Utrillas, de "Cantos blandos", que son estudiados mineralógicamente y para los que se supone proceden de la remoción de parte de los sedimentos limo-arcillosos, por cambios en la dinámica del transporte y recubrimiento posterior con otros materiales detríticos más gruesos, que hayan sido arrastrados.

14. Dentro de la sedimentación Utrillas merece destacarse por sus diferentes características la cuenca de Montalbán-Beceite, en el N. de Teruel que presenta un alto contenido en caolinita, de gran cristalinidad, con geles de óxidos de aluminio, y una granulometría más fina que la normal en esta facies.

15. Los depósitos Neógenos y Cuaternarios proceden de un proceso genético similar al de los Cretácicos, sin embargo, los sedimentos se encuentran menos maduros, porque las etapas biorrexisiásticas han sido más cortas, como asimismo el transporte, encontrándose por tanto dichos sedimentos muy cerca del área-fuente, con cantos poco redondeados, con gran abundancia de feldespatos alterados, caolinitas desordenadas, abundancia de fases amorfas alofánicas, hidróxidos de aluminio, menor potencia de sedimentos y, en general, una semejanza con los materiales del área-fuente, aunque en estado caótico.

16. El caolín de los sedimentos Paleozoicos es heredado en parte (caolinitas redondeadas) y en parte neoforado en el sedimento por meteorización (caolinitas de pequeños tamaños, desordenadas y de hábitos hexagonales). Cuando estos sedimentos han estado sometidos a presiones dirigidas de origen tectónico, y ha ocurrido que por alguna fractura progrese un fluido hidrotermal se ha ocasionado de forma muy localizada la neoformación de pirofilita y de caolinita. Esta última, algo posterior a la primera, de forma que en parte la pirofilita ha debido caolinizarse, ya que sus porcentajes son inversos en las muestras estudiadas. La pirofilita se caoliniza más fácilmente que la sericita y que los feldespatos, ya que el porcentaje de éstos permanece prácticamente invariable aunque varíe la proporción de caolinita.

17. Los yacimientos hidrotermales se han originado sobre rocas ácidas (graníticas, pegmatíticas o gnéicas), a favor de fracturas. La forma del yacimiento sigue la directriz tectónica, presentándose de forma masiva y produciéndose normalmente un enriquecimiento de caolinita en los niveles inferiores, a favor de los feldespatos y de las micas.

Es frecuente la superposición de una acción caolinizante meteórica a estos fenómenos hidrotermales, lo que provoca en los niveles más superficiales, un enriquecimiento secundario en caolinita, y un aumento de fracciones finas. Cuando el drenaje es insuficiente para la caolinización, se neoforman esmectitas e interestratificados en los primeros metros. Si la milonitización acompaña a la fracturación, el efecto caolinizante meteórico es más importante.

18. Existen grandes áreas en el Macizo Hespérico (en las rocas ígneas y metamórficas), caolinizadas meteóricamente. Las más importantes se localizan en Galicia y en la Cordillera Central. Esta caolinización *in situ* de tipo edáfico está restringida a los ocho primeros metros, e incluso a espesores menores, aunque localmente puede ser más profunda por efecto tectónico, milonitizaciones o nivel freático. Se reconocen estos depósitos por el tránsito sucesivo desde la zona caolinizada a la roca madre sin alterar, con una disminución progresiva en el contenido en caolinita.

19. Los depósitos asociados a rocas volcánicas ácidas (felsitas) se han alterado hidrotermalmente *in situ* por un proceso de autometamorfismo, originando ha-

loisitas. Posteriormente la acción meteórica ha hecho evolucionar en parte a estas kanditas formando caolinitas desordenadas.

20. El mecanismo de la caolinización se ha realizado en el caso de los yacimientos hidrotermales, fundamentalmente vía mica a partir de los feldespatos potásicos y posiblemente también a partir de las plagioclasas. Las micas también se han caolinizado.

Para los procesos meteóricos, la vía más frecuente ha sido la disolución de los feldespatos, mostrándose ante esta acción las plagioclasas como más lábiles que los feldespatos potásicos. La neoformación de caolinita a partir de las soluciones anteriores ha debido producirse a través de fases amorfas, haloisitas y caolinitas desordenadas o directamente a partir de las fases amorfas.

21. Teniendo en cuenta el ambiente genético deducido para los distintos depósitos españoles, su edad y la naturaleza de la roca madre, se han establecido 6 tipos, los cuales, de acuerdo con las diferencias en su mineralogía, granulometría y composición química, y procesos genéticos secundarios, ha permitido, en algunos casos establecer subtipos. Finalmente, también, se han definido variedades dentro de ciertos subtipos.

Los tipos definidos han sido:

I. Tipo Cordillera Ibérica. Yacimientos Cretácicos, sedimentarios, formados a partir de etapas biorrexisiásticas sobre rocas ácidas Hercínicas y Prehercínicas. Subtipos: Wealdense (variedad Villar del Arzobispo) y Utrillas (variedad Teruel).

II. Tipo Asturias. Yacimientos sedimentarios enriquecidos por meteorización y a veces por acciones hidrotermales. Subtipos: Sierra del Pedroso, Sierra Morana y Córdoba.

III. Tipo Pontevedra. Yacimientos sedimentarios Neógenos y Cuaternarios, procedentes de alteración de rocas ácidas Hercínicas y Prehercínicas.

IV. Tipo Lage. Yacimientos hidrotermales formados *in situ*, sobre rocas ácidas intrusivas o metamórficas, Hercínicas y Alpinas. La edad es "Alpina" en aquellos casos en que se han podido datar, y suelen llevar superpuesto un proceso de caolinización de tipo meteórico.

V. Tipo Paraños. Yacimientos formados *in situ* sobre granitos s. l. y gneises, por meteorización.

VI. Tipo Burela. Rocas volcánicas Precámbricas o Paleozoicas antiguas caolinizadas por meteorización y, a veces, por un proceso de autometamorfismo previo.

3.5. ECONOMIA

22. Los yacimientos de mayor interés económico son los del tipo I, subtipo "Sierra del Pedroso" del tipo II, subtipo "La Coruña" del tipo IV y tipo VI.

23. Las provincias que en los últimos años han sido las máximas productoras de caolín son: La Coruña, Lugo, Cuenca, Valencia y Guadalajara para caolín la-

vado. Las máximas productoras de arcillas refractarias son: Pontevedra, Teruel y Oviedo; y como productoras de caolín bruto para uso directo, Toledo, Valencia, Lugo y Córdoba. La provincia de mayor producción en caolín lavado ha sido Lugo, con 65.000 Tm; para arcillas refractarias, Oviedo con 174.422 Tm, seguida de Pontevedra con 74.900 Tm y Teruel con 71.298 Tm; y para caolín bruto, Toledo con 28.316 Tm, seguido de Valencia con 22.249 Tm. (Datos de 1972.)

24. La mayor parte de los denuncios y concesiones actuales han sido efectuados por mineros ocasionales, sin ningún trabajo previo de prospección geológica y minera.

25. La explotación, en la mayoría de los casos, es intermitente, no está mecanizada y la tecnología para la extracción del caolín lavado es muy rudimentaria, salvo en algunos yacimientos de Galicia (Lage, Jove, Burela, etc.).

26. Las explotaciones se realizan principalmente a cielo abierto, por cantera, bancos o cortas.

BIBLIOGRAFIA

210. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: Mapa geológico de España a 1:200.000. Hoja núm. 12 (Bilbao). I. G. M. E. Madrid (1970).