

CONCLUSIONES

1. Dentro de las rocas estudiadas las de más abundancia relativa en el yacimiento son las areniscas cuarzo-feldespáticas, las cuarzosas, los esquistos y las aleurolitas. Subordinadamente aparecen las areniscas polimícticas y las calizas con sus brechas y raramente las areniscas vulcanomícticas?, serpentinitas y gabros.
2. Las principales alteraciones secundarias que afectan a los minerales de las rocas estudiadas son: cuarcificación, sericitización, cloritización, carbonatación, saussuritización, anfibolización, etcétera.
3. Las rocas presentan procesos secundarios de alteración superpuestos inherentes al metamorfismo regional, al dinamometamorfismo local y a las soluciones mineralizantes; todos de difícil separación.
4. En el microscopio petrográfico se determinó preliminarmente la existencia de metálcos tales como pirrotina y pirita en las rocas, fundamentalmente asociados a las areniscas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas.
5. Como minerales acompañantes a la mineralización metálica aparece el cuarzo principalmente, además de la calcita y la clorita.

REFERENCIAS

1. ASTAJOV y otros; "Informe sobre los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:50 000 en la parte NW de la provincia de Pinar del Río". Geofondo. EGPR, 1982.
2. BARZANA, J. A.: "Proyecto de exploración orientativa Nieves". Geofondo. EGPR, 1979.
3. Colectivo CIG: "Informe sobre las investigaciones metalométricas en la provincia de Pinar del Río". Geofondo, EGPR.
4. SEGURA SOTO, R.: Introducción a la petrografía. Ed. URMO, España, 1973.
5. SUJARIN, V. y otros: "Informe de los resultados obtenidos en la búsqueda a escala 1:50 000 y 1:10 000 en el campo mineral Matahambre-Mella". Geofondo. EGPR, 1978.

CDU 549.6:553.55/.57 (729)

BREVE DESCRIPCION MINERALOGICA DE LA FRACCION NO-CARBONATICA DE MARGAS Y CALIZAS DE LOS YACIMIENTOS CANTABRIAS Y LAS PAILAS. CARACTERIZACION DEL COMPONENTE ARCILLOSO FUNDAMENTAL

RESUMEN

Partiendo de los resultados obtenidos mediante la conjugación de varios métodos analítico-instrumentales se realizó una determinación cualitativa y cuantitativa de los minerales constituyentes de la parte no-carbonática de las margas y calizas de los yacimientos Cantabrias y Las Pailas. Además, se realizó una caracterización minuciosa del mineral arcilloso más abundante de las rocas estudiadas. El mineral arcilloso es un filosilicato de estratificación mixta de tres capas estructurales del tipo montmorillonítico-muscovítico con predominio de capas montmorilloníticas.

КРАТКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НЕКАРБОНАТНОЙ ФРАКЦИИ
МЕРГЕЛЕЙ И ИЗВЕСТНЯКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАНТАБРИАС
И ЛАС ПАИЛАС И ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНОГО
ГЛИНИСТОГО КОМПОНЕНТА

Резюме

Исходя из результатов полученных посредством комплексирования различных инструментально-аналитических методов осуществлено качественное и количественное определение минералов, составляющих некарбонатную часть мергелей и известняков месторождений "Кантабриас" и "Лас Паилас". Кроме того, приводится детальная характеристика глинистого минерала наиболее распространенного в исследованных породах. Глинистый минерал представляет собой смешанно-слоистый силикат с тремя структурными слоями типа монтмориллонита-мусковита с преобладанием слоев монтмориллонита.

BREVE DESCRIPCION MINERALOGICA DE LA FRACCION
NO-CARBONATICA DE MARGAS Y CALIZAS DE LOS YACIMIENTOS
CANTABRIAS Y LAS PAILAS. CARACTERIZACION
DEL COMPONENTE ARCILLOSO FUNDAMENTAL

Lic. Rafael Quintana Puchol
Candidato a Doctor y Profesor Titular de la Facultad
de Química y Física de la Universidad Central
de Las Villas

INTRODUCCION

La descripción de las características geológicas fundamentales de los yacimientos Cantabrias y Las Pailas, así como una descripción mineralógica de sus rocas han sido realizadas por Zinchenco [31] y ampliadas por Quintana Puchol [22].

Los yacimientos estudiados se encuentran a unos 15 km al nordeste de la ciudad de Cienfuegos y en las cercanías del río Caunao (Figura 1).



Fig. 1. Posición geográfica de los yacimientos Cantabrias (5) y Las Pailas (6, 7) en la región de Cienfuegos.

Las rocas que conforman el cuerpo principal del yacimiento Cantabrias son calizas y margas del Maestrichtiano Superior y las del yacimiento Las Pailas son margas y margas arcillosas del Paleógeno, intercaladas irregularmente con estratos arcillosos y areniscas carbonatadas.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

De cada yacimiento se tomaron muestras que representaban la amplia gama de tipos de rocas más abundantes y que además caracterizaban con mayor amplitud los yacimientos estudiados. La obtención, preparación y estudio de la parte no-carbonática se efectuó según las recomendaciones de Chilingar [7], Störr [27] y Pettijohn [21].

Después de la cuidadosa eliminación de los carbonatos y de las sustancias orgánicas de cada muestra mediante HCl (1%) y H₂O₂ (10%), respectivamente, se determinó la distribución granulométrica de la fracción no-carbonática mediante las técnicas de levigación para las fracciones < 50 μm y por tamización para las de > 50 μm. La acción del HCl y del H₂O₂ sobre las posibles alteraciones estructurales del mineral arcilloso se comprobó roentgenográficamente, observándose en los reflejos antes y después del tratamiento la inalterabilidad en los parámetros que los caracterizan. El contenido de la fracción no-carbonática de cada muestra está expuesto en la Tabla 1.

TABLA 1. Contenido en por ciento de la fracción no-carbonática de las muestras de los yacimientos Cantabrias y Las Pailas.

Cantabrias		Las Pailas	
Muestras	Contenido (%)	Muestras	Contenido (%)
M-26	29,6	M-29	23,9
M-33	32,0	M-30	41,2
M-32	34,7	M-31	53,0

De la Tabla 2 se observa que las muestras del yacimiento Las Pailas presentan una mayor heterogeneidad granulométrica que las del yacimiento Cantabrias. En general el por ciento másico de las fracciones < 50 μm es predominante en la parte no-carbonática de cada muestra estudiada, excepto en la muestra M-30 (Las Pailas).

TABLA 2. Distribución granulométrica de la fracción no-carbonática de las muestras de los yacimientos Cantabrias y Las Pailas.

Tamaño de partículas Ø (μm)	Cantabrias			Las Pailas		
	M-26	M-33	M-32	M-30	M-31	M-29
300	-	-	-	0,4	-	-
300-154	0,3	-	0,6	7,0	5,8	-
154-89	0,5	-	0,7	11,7	2,7	-
98-71	0,7	0,3	0,8	15,3	3,2	-
71-50	2,6	0,3	0,5	21,2	9,3	20,9
50-10	15,4	14,9	38,7	35,2	36,7	44,5
10-5	35,2	34,9	13,8	5,1	15,7	17,0
5-1	15,1	29,4	14,1	2,5	18,6	8,5
1	30,2	20,2	30,8	1,7	8,0	9,1

La masa porcentual de las fracciones $< 50 \mu\text{m}$ del yacimiento Cantabrias oscila en un rango de 65,9-77,4 % y las de Las Pailas abarca un rango aún más amplio de 44,5-100 %.

En la Tabla 3 se percibe que los minerales arcillosos son los más abundantes en la fracción no-carbonática, alcanzando por cientos altos, comprendidos entre 30-65 %.

La determinación mineralógica se efectuó fundamentalmente mediante las técnicas de difracción de rayos-X, análisis térmico (ATD, TG y TGD), espectroscopia IR, microscopía electrónica y las técnicas de dilatometría.

Los resultados de la determinación cualitativa y cuantitativa de los minerales de la parte no-carbonática de las muestras están representados en la Tabla 3.

TABLA 3. Composición mineralógica en por ciento de la fracción no-carbonática de los yacimientos Cantabrias y Las Pailas.

Minerales	Cantabrias			Las Pailas		
	M-26	M-33	M-32	M-30	M-31	M-29
Mineral estratificado de capas mezcladas del tipo montmorillonítico-muscovítico	52-60	56-65	43-47	30-45	45	40-55
Caolinita	6-8	1-5	3-5	3	5	7
Muscovita	-	-	-	4-8	1-4	5
Biotita	-	-	-	1	2	1
Clorita	-	-	-	1	1-4	3
Zeolita	-	-	-	6-9	25-35	4-6
Feldespatos	10-12	12-13	9-11	15-22	8-13	9-14
Cuarzo	12-15	10-15	6-20	18-20	10-15	15-18
Opalo-CT	1-3	1-2	20-25	5-13	1	1-3
Apatita	-	-	-	-	1	1
Pirita	3-5	2-5	3-5	-	-	-
Goethita	6-8	3-5	3-5	-	-	-
Minerales pesados	-	-	-	2-6	3-5	3
Otros minerales	1	1	2	-	-	-

El mineral arcilloso principal de la fracción no carbonática de todas las muestras seleccionadas es un filosilicato de tres capas irregularmente estratificado del tipo montmorillonítico-muscovítico, presentando este mineral pocas diferencias estructurales en los dos yacimientos estudiados.

ESTUDIO ROENTGENOGRAFICO

El mineral arcilloso principal de la fracción no-carbonática se trató de obtener lo más puro posible mediante técnicas de centrifugación, desarrolladas por Wiegmann [30]. El contenido del mineral arcilloso principal en las fracciones obtenidas por centrifugación alcanza valores superiores al 95 %.

El aspecto de los roentgenogramas de los preparados texturales de la fracción $< 0,2 \mu\text{m}$, obtenidas por centrifugación de las muestras naturales, presenta un reflejo basal de primer orden bastante simétrico con un valor de $d(001)$ de $13,38 \text{ \AA}$. Al ser calentados los preparados texturales, se obtiene un desplazamiento del reflejo basal a $12,26 \text{ \AA}$. A temperaturas de $350 \text{ }^\circ\text{C}$ surge una concentración de los planos basales (001) a $10,4 \text{ \AA}$. El tratamiento con vapores de etilenglicol a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ de estas muestras preparadas mostró que la capacidad de expandibilidad hasta $350 \text{ }^\circ\text{C}$ se mantiene casi inalterablemente reversible. Después de calentar a $600 \text{ }^\circ\text{C}$ se contraen irreversiblemente las capas baseles a $10,04 \text{ \AA}$ con una disminución apreciable de la intensidad del reflejo basal (001). El valor del semiancho del reflejo basal de primer orden varía muy poco en el rango de temperatura comprendido de $20-350 \text{ }^\circ\text{C}$; solamente a $600 \text{ }^\circ\text{C}$ aparece una disminución marcada de este parámetro (Tablas 4 y 5).

TABLA 4. Valores de d (\AA) de primer orden hasta sexto orden del mineral arcilloso de estratificación de capas mezcladas del tipo montmorillonítico-muscovítico después del tratamiento con etilenglicol a preparados texturales de la fracción $<0,2 \mu\text{m}$ de la muestra M-26 (Cantabrias).

d (\AA)	Reflejo (001)	Intensidad
17,45	001	100
8,84	002	7
5,60	003	14
4,40	004	3
3,40	005	50
2,81	006	10

TABLA 5. Valores de d (\AA) de los preparados de textura después del tratamiento térmico, con vapores de etilenglicol y con inclusión de cationes Mg^{2+} de la fracción $<0,2 \mu\text{m}$ de la muestra M-26 (Cantabrias).

	hkl	20 °C	150 °C	350 °C	600 °C	20 °C Etilgl.	350 °C Etilgl.
Inclusión	001	13,38	12,26	10,44	10,02	17,45	17,24
catiónica natu- ral más trata- miento térmico	002	-	-	-	-	8,84	8,76
y con vapores de etilenglicol	003	4,83	4,83	4,88	4,90	5,60	5,55
	005	3,34	3,33	3,33	3,23	3,36	3,36
	006	-	-	-	-	2,81	2,84
Inclusión del catión Mg^{2+} más trata- miento térmico	001	14,20	13,62	13,60	10,04	17,24	-
y con vapores de etilengli- col	002	-	-	-	-	8,84	-
	003	4,82	4,88	4,87	4,90	5,65	-
	005	3,34	3,33	3,33	3,23	3,36	-
	006	-	-	-	-	2,84	-

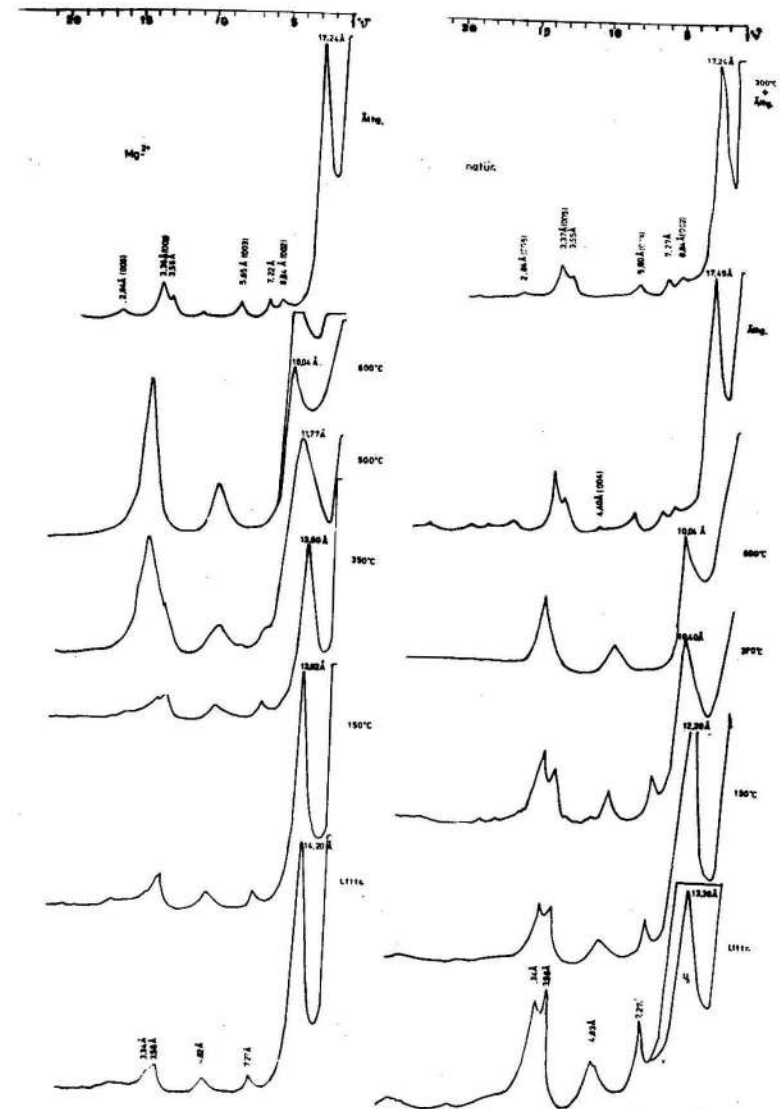
El valor del reflejo basal de primer orden se desvía considerablemente del reportado por Brown [5] para la montmorillonita de 17,0 Å. Para poder definir a qué serie estructural pertenece este mineral arcilloso se obtuvo un preparado sin efecto textural, obtenido al mezclar la fracción < 1 μm con corcho rallado (100 mesh), en una relación volumétrica 1:3. El valor de d(Å) del reflejo (060) de 1,504 Å indica que este filosilicato de tres capas pertenece a la serie dioctaédrica.

Para poder aclarar definitivamente la interrogante de si el mineral arcilloso es una montmorillonita o un mineral de capas estratificadas del tipo mencionado se incluyó entre sus capas iones Mg^{2+} . Los resultados roentgenográficos de los diferentes tratamientos térmicos y con etilenglicol se presentan en la Tabla 5. (Ver Figura 2.)

Los indicios más importantes para la identificación de un filosilicato de capas estratificadas de diferentes tipos son, en primer lugar, las desviaciones de los valores de d(001) de los reflejos basales (001), (002) y (003) de los de la montmorillonita clásica después del tratamiento con etilenglicol e inclusiones de cationes, así como el estudio de la reversibilidad de la capacidad de expandibilidad a diferentes temperaturas (Tabla 4).

Los resultados obtenidos en estos aspectos concuerdan aceptablemente con los resultados y recomendaciones de Reynolds y Hower [23], Brown [5] y Landgraf [18] para la identificación de un mineral arcilloso del tipo estudiado.

Fig. 2. Roentgenograma de los preparados texturales de la fracción < 0,2 μm de las muestras naturales tratadas a diferentes temperaturas y con vapores de etilenglicol, así como también con cationes Mg^{2+} incluidos.



ESTUDIO TERMICO

Debido a que la fracción $<1 \mu\text{m}$ es relativamente abundante y cuyo contenido del mineral arcilloso investigado es alto, se empleó esta fracción granulométrica para el estudio de su comportamiento térmico. (Tabla 6.)

El estudio del comportamiento térmico de los minerales brinda datos de sumo valor para la caracterización mineralógica y pone de manifiesto valiosas propiedades estructurales de ciertos minerales arcillosos tales como el que se estudia.

Mediante el ejemplo de la fracción $<1 \mu\text{m}$ de la muestra M-26 del yacimiento Cantabrias pretendemos poner de manifiesto las características térmicas del mineral arcilloso principal de cada yacimiento. (Tabla 6).

En la Figura 3 están representadas las curvas de ATD, TGD y TG de la muestra M-26. La curva ATD presenta al principio una reacción endotérmica intensa, cuyo máximo de temperatura se encuentra a 170°C ; mientras que partiendo de la curva DTG se observa para este primer efecto endotérmico que existe un cambio de la velocidad de la reacción a 140°C . Este efecto endotérmico que presenta la curva ATD es característico para muchos minerales arcillosos, tales como montmorillonita, vermiculita, minerales de capas mezcladas, etcétera [12, 19, 5], que absorben fuertemente agua. Esta agua absorbida se encuentra principalmente unida como esfera de hidratación de los cationes que se encuentran incluidos en las posiciones entre las capas estructurales de diferentes tipos. El máximo endotérmico del primer efecto ATD es independiente del tipo de catión incluido entre las capas estructurales [1]. También Störr [27] y Landgraf [18] entre otros han observado que para los cationes divalentes incluidos entre las

capas estructurales se efectúa la pérdida de las moléculas de agua de una forma escalonada. Esto tiene cierta explicación en la fuerza iónica que presenta el catión incluido entre las capas estructurales, lo cual provoca que las moléculas de agua se ordenen en distintas esferas de hidratación, una primaria y otra secundaria, las cuales están unidas al catión con distintos grados de fortaleza y presentan además disposición espacial diferente alrededor del catión; también existen otros tipos de moléculas de agua que no están de forma ordenada al catión y se encuentran entre las capas estructurales, lo cual conlleva a otra diferenciación de su comportamiento térmico. Hay que considerar también que la resolución y/o la anchura del primer efecto ATD son fuertemente influidas por el grado de sustitución tetraédrica de los iones Si^{4+} por los iones Al^{3+} [20, 29].

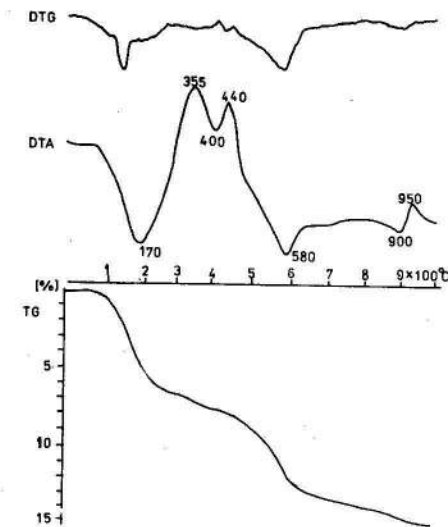


Fig. 3. Curvas ATD, TG y TDG de la fracción $<1 \mu\text{m}$ de la muestra M-26 (Cantabrias).

TABLA 6. Aspectos característicos de las curvas ATD y TG de la fracción 1 m de la muestra M-26 (Cantabrias).

Mo.: mineral de capas mezcladas tipo montmorillonítico-muscovítico.
Caol.: caolinita.

Efectos ATD (°C)	Pérdida másica-TG		Composición mineralógica Muestra M-26	Designación del efecto termico		
	350 °C	350-1 000 °C				
endo	mg	(%)	mg (%)			
170	-	18	2,2	-	Mo.	H ₂ O absorbiva
220	-	56	6,6	-	Mo.	H ₂ O de hidratación
-	355	6	0,7	-	Sustancia orgánica	Oxidación*
400	-	-	7	0,81	Goethita	Deshidratación
-	440	-	2	0,23	Pirita	Oxidación
580	-	-	-	-	Mo. + Caol.	Deshidroxilación
690	-	-	-	-	Mo.(?)	Deshidroxilación
900	-	-	6	0,70	Mo.	Ruptura reticular
-	950	-	-	-	Mo.	Formación de nuevas fases

*La sustancia orgánica no pudo ser totalmente eliminada con H₂O₂.

A mayor sustitución se manifiesta menor la tendencia de resolver el primer efecto endotérmico, es decir, disminución del efecto escalonado del desprendimiento del agua debido a una mayor sustitución de Si⁴⁺ por Al³⁺ en las capas tetraédricas, lo que provoca un incremento de la carga negativa de la celda elemental ocasionando un efecto de polarización contrapuesto sobre las moléculas coordinadas, lo cual provoca una deformación de las esferas de hidratación y a causa de este desorden conlleva a una diferenciación energética pequeña entre las moléculas de agua coordinadas al catión y las no coordinadas. Por eso para que se manifieste la resolución de dos máximos en el primer efecto endotérmico, es preciso que exista un compromiso entre la fortaleza iónica del catión incluido y la intensidad de la sustitución isomórfica en la capa tetraédrica y alcance un valor tal que conlleve a una diferenciación energética entre las moléculas de agua situadas entre las capas estructurales.

Debido a que el mineral arcilloso de la muestra M-26 presenta una resolución débil del primer efecto ATD, esto permite referirse con cierta probabilidad a la existencia prioritaria de un catión divalente incluido entre las capas estructurales y a una relativa alta sustitución de Si⁴⁺ por Al³⁺ en las capas tetraédricas.

En los trabajos de Störr [27,28] se pone de manifiesto que el corrimiento del máximo de temperatura desde los 100 hasta los 160 °C en los minerales de estratificación mezclada del tipo montmorillonítico se debe a un incremento del componente montmorillonítico. A pesar de que el máximo de temperatura del primer efecto endotérmico no es el más idóneo para la identificación, ya que una serie amplia de minerales arcillosos presentan este efecto, se puede demostrar en este caso la existencia de una concordancia aceptable con los roentgenogramas de que el compo-

nente principal mineralógico de la fracción granulométrica estudiada es un mineral arcilloso de capas estratificadas irregularmente del tipo montmorillonítico-muscovítico y que presenta una cantidad considerable de agua absorbida reversiblemente.

La influencia de minerales micáceos sobre la intensidad del primer efecto endotérmico es por lo general de poca importancia debido a que los mismos presentan en ese rango de temperatura efectos endotérmicos de poca significación según los criterios expresados por Muñoz y Ferrandis (1957), Cole y Hoskins [6], Brandley y Grim [4].

La segunda reacción endotérmica se manifiesta presentando un máximo de temperatura a 580 °C, la cual se le atribuye a la deshidroxilación del componente principal de la fracción < 1 μm . También la curva ATD presenta una reacción endotérmica a 690 °C (contribución de las capas del tipo montmorillonítico).

Según criterios de Muñoz y Ferrandis (1957) se sugiere la consideración de este efecto de deshidroxilación a la presencia de illita; Brandley y Grim (1972) atribuyen a este efecto la existencia de minerales del tipo micáceo; Galán y Espinosa [9], Holdridge y Vanghan [15] a minerales de estratificación de capas mixtas de tipo montmorillonítico y muscovítico.

Muchos autores, entre ellos Greene-Kelly [11], Wiegmann, Horte y Kranz [30] han demostrado que la temperatura de deshidroxilación de la segunda reacción endotérmica para la montmorillonita se encuentra aproximadamente a 700 °C.

Grim y Rowland [13] investigaron mezclas artificiales de illita (rango de concentración, 10-95 %) y montmorillonita (rango de concentración, 8-95 %). Los diferentes registros de estas mezclas muestran dos máximos de temperatura a 565

y 700 °C. Estos efectos contienen diferentes intensidades según la relación de los componentes en la mezcla.

Johns y Jonas (1954) encontraron que mediante una alta sustitución tetraédrica de Si^{4+} por Al^{3+} en una estructura de tipo montmorillonítico existe un corrimiento del máximo de temperatura del segundo efecto endotérmico. Mackenzie [20] encontró un efecto similar de corrimiento, provocado por una alta sustitución de Fe-iones en las capas octaédricas.

La muestra M-26 muestra en el desarrollo de la curva ATD de la fracción < 1 μm sin tratamiento solamente un débil efecto de deshidroxilación cerca de los 690 °C y un fuerte efecto endotérmico a los 580 °C. El último efecto mencionado muestra con bastante nitidez la existencia del componente muscovítico en la estructura del mineral de capas mezcladas.

A 900 °C se manifiesta una reacción endotérmica, que es caracterizada por el desprendimiento del agua hidroxílica residual, provocando la ruptura del retículo cristalino y a la vez transformaciones estructurales. Este efecto es por lo general inadecuado para la caracterización del mineral, ya que la mayoría de los filosilicatos de tres capas presentan una similar reacción. No obstante es conocido que la intensidad de este efecto endotérmico para las esmectitas disminuye con el aumento del contenido de Fe y que para extremos contenidos de Fe en estos minerales llega a desaparecer. En general presenta el tipo Wyoming, en este rango de temperatura, un débil efecto al del Cheto tipo [30].

DILATOMETRIA Y DILATOMETRIA DIFERENCIAL

Las propiedades de contracción-expansión de cada componente mineralógico de la fracción < 1 μm de la muestra M-26

se comportan al ser calentados según su quimismo y conformación reticular más o menos de una forma característica.

Este comportamiento depende en cierta medida de las transformaciones químico-físicas que se manifiestan de una forma conjugada o resultante de la muestra total en el rango de temperatura de 60 a 1 000 °C.

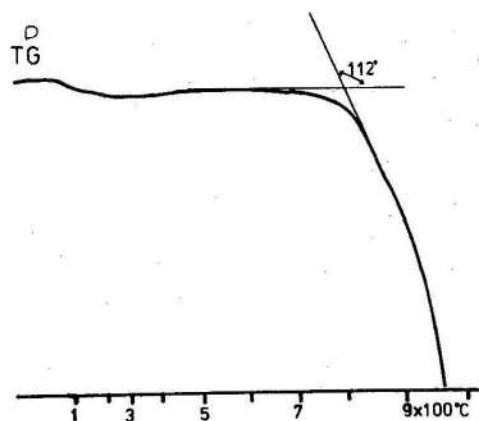


Fig. 4. Curva termodilatométrica (TD) de la fracción <math>< 1 \mu\text{m}</math> de la muestra M-26 (Cantabrias).

La curva dilatométrica (TD) presenta un desarrollo característico para una montmorillonita rica en Fe en el rango de temperatura empleado, el cual se puede desglosar en tres zonas.

En el rango de temperatura de 30-220 °C aparece una contracción debido al desprendimiento del agua absorbida, que se encuentra entre las capas estructurales. A partir de los 220 °C hasta los 600 °C se mantiene un desarrollo monótono casi horizontal.

Una contracción intensiva surge a los 760 °C que es provocada por la destrucción del retículo cristalino. En el rango de temperatura entre 600-800 °C, no se observa expansión, sino una caída lenta de la curva TD (ver Figura 4). Esto significa probablemente que entre las capas estructurales estratificadas los cationes monovalentes no se encuentran en cantidad mayoritaria. Esta afirmación está en correspondencia con las deducciones sobre el carácter escalonado del primer efecto endotérmico de la curva ATD.

La curva de dilatometría térmica diferencial (DTD) presenta dos efectos, que son producidos a causa de la desviación racional de las contracciones en función de la temperatura y cuyos máximos de temperatura se encuentran a 150 °C y 860 °C (Figura 5). Las características más sobresalientes de la curva DTD están resumidas en la Tabla 7.

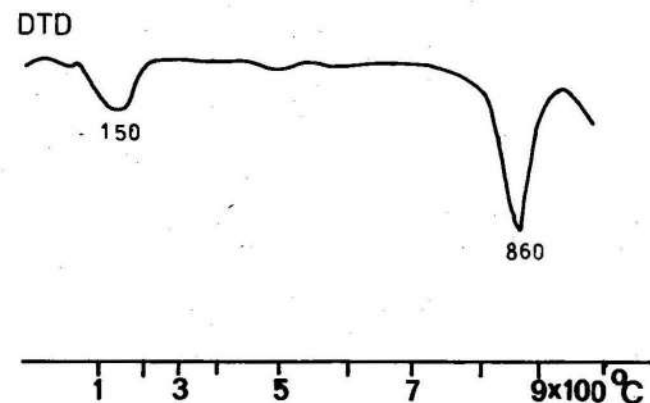


Fig. 5. Curva de dilatometría térmica diferencial de la fracción <math>< 1 \mu\text{m}</math> de la muestra M-26 (Cantabrias).

TABLA 7. Características de la curva de dilatometría térmica diferencial de las muestras M-26 (Cantabrias).

	1er. efecto	2do. efecto
Desarrollo de la deshidratación	Uniescalonado (ancho)	Uniescalonado (estrecho)
Rango de temperatura	60-220 °C	780-920 °C
Temperatura máxima de la amplitud	150 °C	860 °C

Según Schomburg y Störr [26] se puede caracterizar de acuerdo con la posición del máximo de la amplitud y el desarrollo dilatométrico diferencial un silicato de tres capas de una determinada serie (por ejemplo, el grupo de la nontronita).

En el rango de temperatura de 60-220 °C muestra la curva DTD un efecto poco intenso, que no presenta desarrollo escalonado. La temperatura de deshidroxilación de la curva DTD es 20 °C inferior que la determinada por la curva de ATD. La causa de esto puede encontrarse en el trayecto de la difusión (muestra-atmósfera del horno) del vapor de agua desplazado del cuerpo de la muestra [26].

Para las nontronitas y esmectitas ricas en Fe presentan el máximo de la amplitud del segundo efecto fundamentalmente sobre los 900 °C, mientras que para los miembros de transición se encuentra este máximo entre los 800 y 900 °C [24].

La posición y la intensidad de la amplitud dependen fundamentalmente del quimismo estructural de la esmectita, de la capacidad de intercambio catiónico y de la reacción de fases de alta temperatura, entre otros efectos [10].

Según los efectos de contracción y expansión en el rango de temperatura de 780-1 000 °C y la posición del máximo de la amplitud a 860 °C se puede clasificar el principal componente de la fracción <math> < 1 \mu\text{m}</math> de la muestra M-26 como miembro de transición que se asemeja al tipo Wyoming. También teniendo en consideración el concepto de "Abnickwinkel" (ángulo de flexión, ver Figura 4) de la curva dilatométrica (TD) en el rango de ruptura del retículo cristalino, en función del contenido de Fe "fijado" octaédricamente [25] se puede completar la caracterización del mineral arcilloso. En el presente trabajo, este ángulo presenta un valor de 110°, lo que significa que el mineral arcilloso investigado contiene 0,5-0,6 átomos de Fe por celda elemental. Según este contenido de Fe se puede clasificar el componente arcilloso principal de la fracción <math> < 1 \mu\text{m}</math> como una esmectita que se encuentra entre el límite inferior de la serie de esmectitas ricas en Fe y un miembro de la serie de transición.

ESPECTROSCOPIA IR

El espectro de absorción infrarroja (IR) de la fracción <math> < 1 \mu\text{m}</math> de la muestra M-26 presenta un número relativamente pequeño de bandas intensas en el rango de longitudes de onda de 400 hasta 3 900 cm^{-1} y especialmente en el rango de absorción fundamental de 900-1 100 cm^{-1} (Figura 6), así como una serie de bandas que son provocadas aparentemente por sustancias acompañantes.

Según Van der Marel y Bueteispacher [2] la montmorillonita presenta los siguientes números de onda característicos: 3 642, 3 624, 1 915, 1 190, 1 038-1 026, 915, 878, 845-835, 796-790, 623, 522 y 467 cm^{-1} .

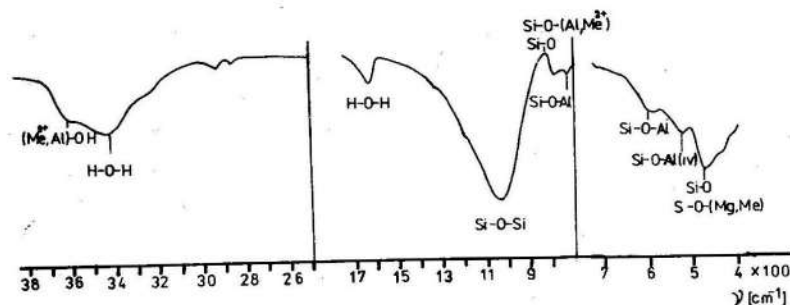


Fig. 6. Espectro infrarrojo (IR) de la fracción $< 1 \mu\text{m}$ de la muestra M-26 en el rango frecuencia de $400\text{-}3\,900 \text{ cm}^{-1}$ (Cantabrias).

En el registro IR de la fracción $< 1 \mu\text{m}$ se encuentran todas las bandas características para la montmorillonita. A causa del grado de desorden relativamente alto de la montmorillonita se presentan débilmente las bandas a 623 y 840 cm^{-1} , las cuales son apenas distinguibles en el espectro IR. Indicios sobre un posible desorden lo constituyen la presencia de singuletes a $1\,105\text{-}$ y $1\,035 \text{ cm}^{-1}$ en lugar de los dobletes a $1\,090\text{-}1\,115 \text{ cm}^{-1}$.

Otros efectos aparecen en el rango de longitudes de onda mayores que $3\,670 \text{ cm}^{-1}$, donde la banda $\text{Me}^{3+(2+)} \dots \text{O-H}$ de la montmorillonita es ensanchada a causa de la presencia de la banda $\text{Fe} \dots \text{O-H}$ de la goethita. También este efecto puede ser provocado parcialmente debido a sustituciones de Al^{3+} por iones Fe^{3+} (Fe^{2+}), lo que conlleva a un solapamiento de bandas en el rango de longitudes de onda de $3\,500$ hasta $3\,624 \text{ cm}^{-1}$.

La conversión de intensidades existentes de las bandas a $1\,100$ y $1\,035 \text{ cm}^{-1}$ es provocada fundamentalmente por la existencia de la intensa banda Si-O de la caolinita a $1\,100 \text{ cm}^{-1}$.

El pobre desarrollo de las bandas a $3\,696$ y $3\,620 \text{ cm}^{-1}$ se puede atribuir a la existencia de poca cantidad de caolinita, la cual presenta un grado de ordenamiento pobre. La presencia de una banda relativamente intensa a 800 cm^{-1} , que aparece como un singulete, es posible que sea provocada por cristobalita, cuarzo roentgenográficamente no identificado, así como ácido silícico amorfo y/o por las bandas (Al, Fe) $\dots \text{O-H}$ de la montmorillonita.

La existencia de bandas a $2\,965$, $2\,930$ y $2\,865 \text{ cm}^{-1}$ indica la presencia de oscilaciones $>\text{CH-}$, $-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_3$ de sustancias orgánicas. El espectro IR, en general, se asemeja bastante al de la montmorillonita de Santa Clara (Cuba) reproducido en el Atlas de espectros IR de Van der Marel y Buetelspacher [2]; sin embargo, existen algunas diferencias debido fundamentalmente al agua presente en la fracción $< 1 \mu\text{m}$ y en cierta medida por el efecto del ion Fe^{3+} (goethita en vez de hematita) sobre las oscilaciones $\text{Me}^{3+} \dots \text{O-H}$. Otras diferencias pequeñas están condicionadas a la existencia de pequeñas cantidades de minerales acompañantes y sustancias orgánicas.

Una diferenciación exacta entre la montmorillonita clásica y el mineral arcilloso estudiado en capas estratificadas mediante la espectroscopía IR no es factible, pero los datos obtenidos por IR indican la presencia de esmectitas en la fracción $< 1 \mu\text{m}$ y con ello se corroboran y además se complementan las conclusiones roentgenométricas y térmicas sobre la existencia de un mineral de estratificación de capas mezcladas del tipo montmorillonítico-muscovítico de alto contenido de capas montmorilloníticas.

TABLA 8. Longitudes de onda de las bandas presentes en el espectro IR de la fracción $1\mu\text{m}$ de la muestra M-26 (Cantabrias); mf: muy fuerte; md: muy débil; m: media; f: fuerte; d: débil; Mo: mineral de capas mezcladas del tipo montmorillonítico -muscovítico; K: caolinita; G: goethita.

Longitud de onda (cm^{-1})	Intensidad	Sustancia	Tipo de oscilación
3 695	md	K(?)	Al...O-H
3 655	md	K(?)	Al...O-H
3 640	m	Mo	(Me, Al)...O-H; Me: Fe^{2+} , Mg^{2+}
3 565	d	Mo, G	Fe...O-H
3 525	d	K, Mo	Al...O-H
3 440	f	H_2O	O-H
3 250	md	Agua de cristalización	O-H
2 965	d	Sustancia org.	Vas- CH_3
2 930	m	Sustancia org.	$-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}<$
2 865	d	Sustancia org.	$-\text{CH}_2-$

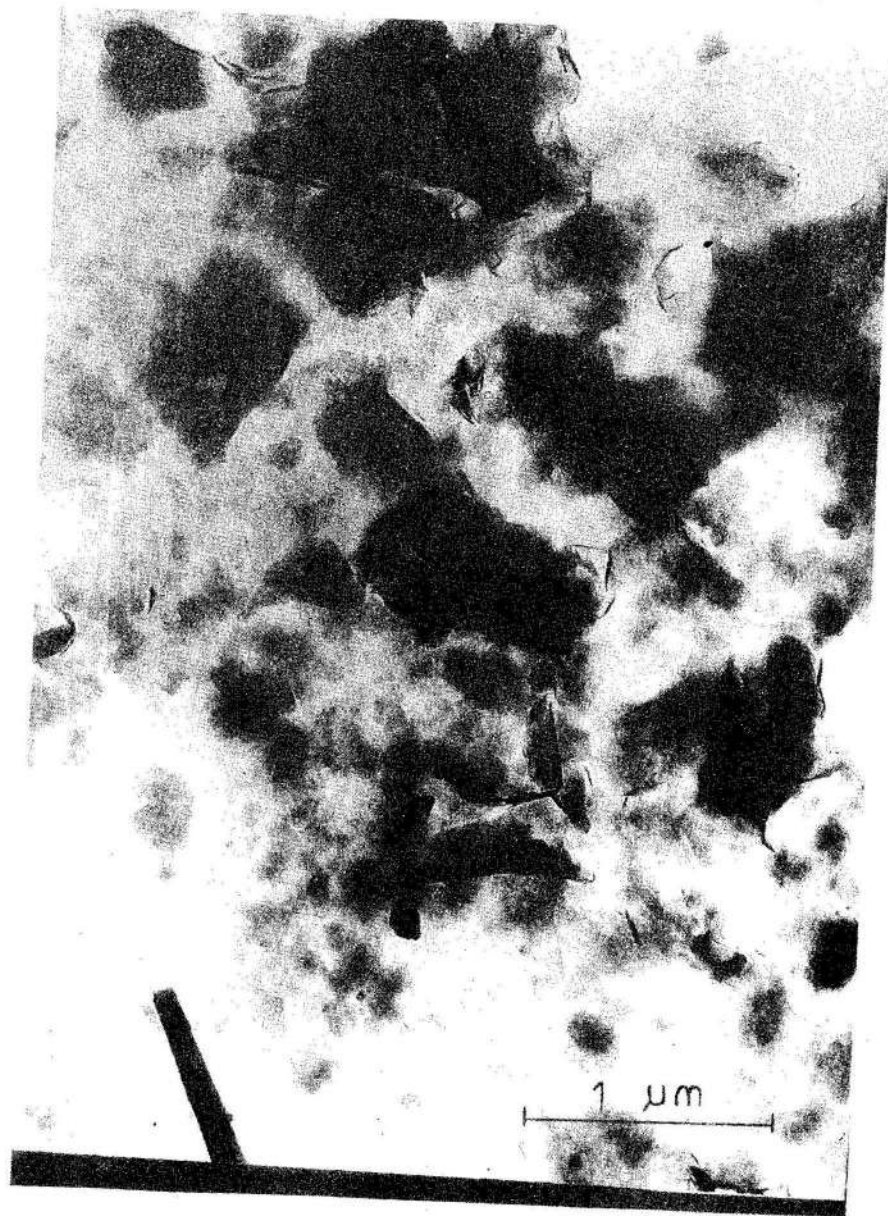
TABLA 8. (Continuación)

Longitud de onda (cm^{-1})	Intensidad	Sustancia	Tipo de oscilación
1 655	md	Sustancia org.	C O, C C
1 635	m	H_2O	O-H
1 435	m	K, Sust. org.	C O, C C
1 105	mf	Mo, K	Si-O
1 035	mf	Mo, K	Si-O-Si, Si-O
920	f	Mo	Al(6)...O-H
880	m	K, Mo, G	Al(6), Fe...O-H, Fe...O-H
800	d	SiO_2 , Mo	Si-O, (Al, Mg)...O-H
518	f	Mo	Si-O-Al(4)
470	mf	Mo, G, K	Si-O-Mg, Fe...O-H, Si-O
430	m	Mo, K	Si-O

MICROSCOPIA ELECTRONICA

Las tomas de microscopía electrónica de la fracción $<1\ \mu\text{m}$ de la muestra M-26 presentan agregados donde la mayoría son de forma de nubes irregulares opacas a la radiación y también partículas finas irregulares de diferentes tamaños (Figuras 7 y 8). Se observan además en las fotografías láminas de algunos cristales con contornos rizados algo levantados, que aparecen en la fotografía oscuros. Algunas partículas están formadas por hojas delgadas con puntos negros diseminados. También se encuentran láminas de caolinita pseudo-hexagonal más pequeñas que $<1\ \mu\text{m}$. En las tomas de microscopía electrónica se presentan agregados constituidos por finas láminas tabulares, que son características para los minerales de capas mezcladas, por ejemplo, para el tipo montmorillonítico-muscovítico [27, 14]. Frecuentemente se observan agregados nublosos de finas láminas tabulares, que en muy pocos casos se presentan como agregados tabulares transparentes, lo cual se corresponde aceptablemente con los datos roentgenométricos de los preparados texturales de esta fracción, que indican un predominio de capas montmorilloníticas en el mineral de capas mezcladas.

Fig. 7. Toma de microscopía electrónica de la fracción $<0,2\ \mu\text{m}$ de la muestra M-26 (Cantabrias).





RESUMEN DE LOS CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACION
DEL FILOSILICATO DE CAPAS MEZCLADAS DEL TIPO
MONTMORILLONITICO-MUSCOVITICO

El complejo de los resultados obtenidos mediante los diferentes métodos de investigación permite una identificación exacta. Además estos métodos se complementan mutuamente, dando como resultado una caracterización exhaustiva del mineral arcilloso objeto de investigación.

Los diferentes resultados permiten, según la magnitud de su contribución, ordenarlos de la siguiente forma:

Sobre la base de la posición de los valores de $d(\text{Å})$ en el estado de expansión del mineral arcilloso, tratado con vapores de etilenglicol y durante el tratamiento térmico cuando tiene incluidos cationes mono y divalentes entre sus capas estructurales, así como la formación de los reflejos basales de primero, segundo y tercer orden de los preparados texturales, permite identificar unívocamente este filossilicato de tres capas expandibles, según los cristales de Reynolds y Hower [23] y Landgraf [18], como un mineral arcilloso de capas mezcladas del tipo montmorillonítico-muscovítico con alta contribución de capas del tipo montmorillonítico.

Las tomas de microscopía electrónica muestran muy frecuentemente agregados laminares de finos listones, los cuales son característicos para los filossilicatos de capas mezcladas [27], Henning [14] y Landgraf [17], entre otros.

← Fig. 8. Toma de microscopía electrónica de la fracción $< 1 \mu\text{m}$ de la muestra M-31 (Las Pailas).

El conjunto de curvas ATD, TG, TGD en el rango de temperaturas de 30-1 000 °C muestra un desarrollo que se aparta considerablemente de la montmorillonita clásica y se asemeja más al comportamiento térmico de un filosilicato de capas mezcladas del tipo antes señalado.

Las curvas TD y DTD muestran un conjunto de características que son representativas para una esmectita con relativamente alto contenido de Fe y que se asemejan al comportamiento de un mineral de transición (se puede atribuir al tipo Wyoming). Todo este conjunto de propiedades indica una alta contribución de capas montmorilloníticas en la estructura del filosilicato de capas mezcladas.

Los datos IR demuestran igualmente la existencia de esmectitas y apoyan con esto los criterios de identificación mediante rayos-X.

OTROS MINERALES

Por la importancia sobre la génesis de los yacimientos que brinda la correcta identificación del mineral ópalo-cristobalita de baja temperatura (Opalo-CT) y de los minerales constituyentes de la fase zeolítica, se expondrá una breve caracterización de los mismos.

Opalo-CT

El mineral Opalo-CT se pudo detectar especialmente en la fracción 1-5 μm de la muestra M-32 (Cantabrias), así como en las demás fracciones < 50 μm de las restantes muestras de los yacimientos estudiados (ver Tabla 9).

TABLA 9. Comparación entre los valores de d (Å) según Boles [3] y los valores d (Å) de la fracción 1-5 μm de la muestra M-30. Para este reflejo se designó la intensidad de 100.

hkl	Valores de d (Å) Boles [3]			Muestra M-32	
	Valor de d (Å) max	Valor de d (Å) min	Rango de intensidad (I/I ₀)	Valor de d (Å)	I/I ₀
(020)	9,0536	8,9702	57-100	9,01	100
(200)	7,9351	7,8942	20-55	7,89	20
(201)	6,8077	6,7518	10-25	6,77	13
(001)	6,6658	6,6256	7-17	6,61	10
(220)	5,9319	5,9252	5-20	5,90	3
(130)	5,5917	-	5	5,60	3
(311)	5,2621	5,2184	10-37	5,25	20
(111)	5,1241	5,1041	22-40	5,11	17
(131)	4,6785	4,6399	22-67	4,65	23
(040)	4,5131	4,4668	5-15	4,48	12
(401)	4,3668	4,3445	7-15	4,33	3
(221)	3,8483	3,8347	10-17	3,85	8
(202)	3,7128	3,6991	10-15	3,70	8
(312)	3,5663	3,5480	10-20	3,55	8
(222)	3,4327	3,4157	17-47	3,42	23
(311)	3,4045	3,3835	20-42	3,39	20
(422)	3,1808	3,1645	17-42	3,179	70
(441)	3,1360	3,1187	20-30	3,13	25
(132)	3,0842	3,0719	10-22	3,08	6
(151)	2,9892	2,9659	45-80	2,979	66

La gran mayoría de los granos de este mineral son redondeados, incoloros, algo turbios, hasta blancos lechosos claros y presentan un índice de refracción de 1,485-1,490. En todos los casos poseen una pequeña doble birrefringencia negativa de 0,001.

El estudio roentgenográfico de la fracción <math> < 50 \mu\text{m}</math> de la muestra M-32 indica la presencia de Opalo-CT, el cual fue denominado antiguamente como cristobalita baja de irregular ordenamiento. El espectro de difracción de rayos-X de la fracción <math> < 50 \mu\text{m}</math> muestra un aspecto similar al que se encuentra en los trabajos de Florke [8], Störr [27], Kostileba [16] y Zwahr (1977) (ver Figura 9).

En estas muestras se encontraron trozos de conchas de cri-noideos y sustancias semiamorfas, que se comportan cristaloópticamente y roentgenográficamente como el Opalo-CT.

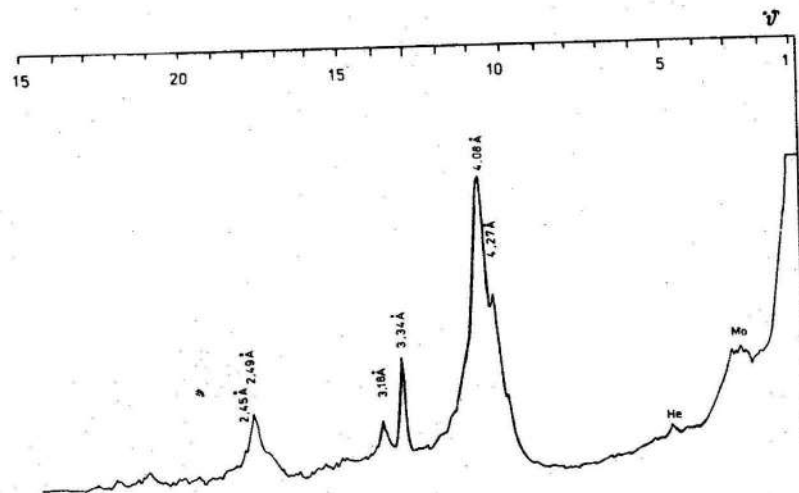


Fig. 9. Roentgenograma de la fracción <math> < 50 \mu\text{m}</math> de la muestra M-32 rica en Opalo-CT (Cantabrias).

Zeolitas (heulandita, clinoptilolita)

Los minerales zeolíticos se encuentran fundamentalmente en las fracciones de 1 hasta $50 \mu\text{m}$ de las diferentes muestras del yacimiento Las Pailas. La mayor concentración de estos minerales se observa en la fracción 1-5 μm de la muestra M-30.

Los resultados roentgenográficos de esta fracción se encuentran representados en la Tabla 9 y la Figura 10, los cuales son muy similares a los reportados por Boles [3] para la heulandita.

Como criterios de diferenciación se esgrimieron los argumentos desarrollados por Boles [3], que consisten en la relación de intensidad de los reflejos siguientes: reflejo (020); reflejo (200); la resolución de los reflejos a 3,96, reflejo (400, 131) y reflejo (240) y la intensidad del reflejo (151) a $2,96 \text{ \AA}$ (Tabla 10).

TABLA 10. Características de diferenciación entre clinoptilolita y heulandita según Boles [3].

Criterios de diferenciación	Clinoptilolita	Heulandita
(020) - reflejo - Relación (200) - reflejo	Pequeña	Muy grande
Resolución de los reflejos (400, 131) y (240)	se manifiesta débil	relativamente buena resolución
Intensidad del reflejo (151)	inferior y ancho	el segundo mas intenso y estrecho

En consideración con estos criterios de diferenciación es posible llegar a las siguientes conclusiones:

Sobre la base de la relación de intensidades del reflejo (020) y (200), cuya magnitud alcanza el valor de 7, se aprecia un exceso de heulandita con respecto a clinoptilolita en la fracción 1-5 μm . Con el aumento del tamaño del grano se observa un incremento de esta relación.

A causa de una resolución de los reflejos (400, 131) y (240) se puede considerar una cantidad mayor de clinoptilolita en las fracciones de grano grande. En las fracciones de grano pequeño se incrementa esta resolución con lo cual se refuerza la primera conclusión.

Según la intensidad del reflejo (151), el cual es el tercero más intenso en el espectro de difracción de la zeolita, lo que significa una disminución considerable, ya que la heulandita presenta en este rango el segundo reflejo más intenso. También se observa un ensanchamiento de este reflejo, lo cual apoya esta conclusión (ver Figura 10).

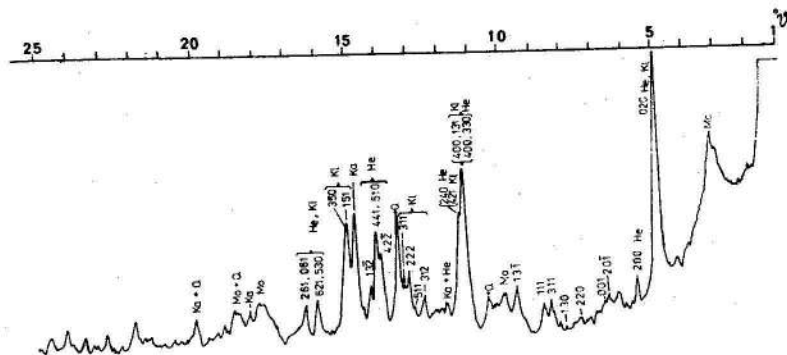


Fig. 10. Roentgenograma de la fracción 1-5 μm de la muestra M-30 (Las Pailas).

REFERENCIAS

1. BARSHARD, I.: "Interlayer Cation and Expansion of Mica-type Structure". *Amer. Min.*, 35, 225-238 (1950).
2. BEUTELSPACHER, H., H. W. VAN DER MAREL: Atlas of Electron Microscopy of Clay Minerals and Their Admixtures. Amsterdam/London/New York. Elsevier Publ. Comp. 333 pp. (1968).
3. BOLES, J. R.: "Composition, Optical Properties, Cell Dimension, and Thermal Stability of Some Heulandite-Group Zeolites". *Amer. Min.*, Menasha 57, 9-10, 1463-1493 (1972).
4. BRANDLEY, W. F., R. E. GRIM: "Mica Clay Minerals" en Brown (1972): "The X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals". Mineralogical Society (Clay Minerals Group), London, pp. 208-241 (1972).
5. BROWN, G.: "The X-ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals". Mineralogical Society (Clay Minerals Group), London, 544 pp. (1972).
6. COLE, W. F., J. S. HOSKING: "Clay Mineral Mixture and Interstratified Minerals" en Mackenzie, R. G.: "The differential Thermal Investigation of Clays". Mineralogical Society, London, pp. 248-275 (1957).
7. CHELINGAR, G. V. et al.: Developments in Sedimentology 9B. Carbonate Rocks. Elsevier Publishing, Amsterdam/London/New York, 411 pp. (1967).
8. FLÖKE, O. W.: "Zur Frage des 'Hoch' -Cristobalites in Opalen, Bentoniten und Gläsern". *N. Jb. Min.*, Stuttgart Mn., pp. 217-223 (1955).

9. GALAN HUERTOS, E. y J. ESPINOSA DE LOS MONTEROS: El caolín en España (Características, identificación y ensayos cerámicos). Madrid, Sociedad española de Cerámicas y Vidrios, 230 pp. (1974).
10. GAUGLITZ, R., H. E. SCHWIETE: "Thermochemische Untersuchungen an Montmorillonit in Abhängigkeit von der Art der Korngröße und der Kationbelegung". Ber. Dt. Keram. Ges., Bad Honnef, 38, pp. 43-57 (1961).
11. GREENE-KELLY, R.: "The Montmorillonite Minerals" en Mackenzie, R. C.: "The differential Thermal Investigation of Clays". London, The Mineralogical Society, 140-164 (1957).
12. GRIM, R. E.: Clay Mineralogy. New York/Oxford/London/Paris (1953).
13. GRIM, R. E., R. A. ROWLAND: Differential Thermal Analysis of Clay Minerals and Other Hydrous Materials. Part II. Amer. Min., Menasha, 27, 12, pp. 801-818 (1942).
14. HENNING, K. H.: Mineralogische Untersuchung eozäner Tone aus der Lagerstätte Friedland und aus Bohrungen in Mecklenburg. Greifswald: Diss. (A), 200 pp. (1968).
15. HOLDRIDGE, D. A., F. VAUGHAN: "The Kaolin Mineral" en Mackenzie, R. C.: "The Differential Thermal Investigation of Clays". London: Mineralogical Society, pp. 161-191 (1957).
16. KOSTYLEVA, E. E.: Cuarzo y todos los minerales silíceos. Mineraly, Tom. II, Mosku: Izd. Nauka, pp. 136-239 (1965) (en ruso).
17. LANDGRAF, K. F.: "Mineralogische Untersuchungen eozäner Tone der Lagerstätte Mallib". (SW-Mecklenburg). Greifswald: sin publicar, Diss (A) (1968).
18. LANDGRAF, K. F.: "Röntgenographische Untersuchung von Cheto und Wyomingtyp bei Montmorilloniten nach den relativen Intensitäten der (001)". Serie des Glykolkomplexes. Chemie der Erde, Jena 38, pp. 233-244 (1979).
19. MACKENZIE, R. C.: "Differential Thermal Investigation of Clays". Mineralogical Society (Clay Minerals Group), London, 456 pp. (1957).
20. MACKENZIE, R. C.: Retention of Exchangeable Ions by Montmorillonite. Int. Clay Conf. v. I, Pergamon Press, New York, pp. 138-193 (1963).
21. PETTIJOHN, I. J.: Sedimentary Rocks. Second edition, Harper & Brothers, New York, 718 pp. (1956).
22. QUINTANA PUCHOL, R.: "Untersuchung zur Phasenanalyse der nichtkarbonatischen Anteile von Mergeln sowie von Kaolinen der Region Cienfuegos in Mittelkubas". Diss. (A), EMA, Universität Greifswald, 187 pp. (1980).
23. REYNOLDS, R. C., S. HOWER: "The Nature of Interlayering in Mixed-Layer Illite-Montmorillonite". Clays and Clay Minerals 18, pp. 25-35 (1970).
24. SCHOMBURG, J.: "Dilatometrische Untersuchungen an diektaedrischen Smektiten". Chemie der Erde, Jena 35, pp. 192-198 (1976).

25. SCHOMBURG, J., K. F. LANDGRAF: "Dilatometrische Untersuchungen zur kristallchemischen Charakteristik von Dreischichtsilikaten". 7th Conf. on Clay Mineralogy and Petrology, Karlovy Vary, Praha, pp. 139-150 (1977).
26. SCHOMBURG, J., M. STÖRR: "Kombinierte Thermische Analyse an Dreischicht Tonmineralen". *Thermichimica Acta*, 25, pp. 313-327 (1978).
27. STÖRR, M.: Lithologisch-petrologische Untersuchungen am nichtkarbonatischen Anteil der Gesteine des Ober-Albs und der Oberkreide in NE-Mecklenburg. Greifswald, Diss (A), pp. 172 (1967).
28. STÖRR, M.: "Genese, Geologie und Mineralogie der Kaolinlagerstätten der DDR sowie der Einfluß des Stoffbestandes auf ausgewählte technologische Eigenschaften der Kaoline. Greifswald". Diss. (B), 470 pp. (1976).
29. WIEGMANN, J., C. H. HORTE: "Der Kornaufbau von Tonen und Kaolinen und seine Bedeutung für die Eigenschaften der Gesteine". *Schriftenreihe für geologische Wissenschaften*, Heft 5, 269-278 (1976).
30. WIEGMANN, J., C. H. HORTE, et al.: "Mineralanalytische Untersuchungen an Glidern der Montmorillonitgruppe". *Ber. dtsh. Ges. geol. Wiss., Berlin B*, 11, 317-342 pp. (1966).
31. ZICHENKO, O., R. QUINTANA PUCHOL, R. TIEL DE LEON y J. A. ESCOBAR: "Composición mineralógica comparativa de varios yacimientos de arcillas de la región de Cienfuegos". *Centro. Serie Química y Tecnología Química III*, 2, pp. 11-52 (1975).

106

CDU 553.481+622.348.1:622.7 (729.1)

VÍAS PARA LA UTILIZACIÓN ÓPTIMA DE LAS LATERITAS NIQUELÍFERAS

RESUMEN

En el presente trabajo, a partir del análisis sustancial de las menas lateríticas y la necesidad de su utilización completa, se propone la explotación de estos yacimientos tomando en consideración su composición químico-mineralógica y sus propiedades tecnológicas. Se analiza también la necesidad de disminuir las exigencias a las menas en lo referente al contenido mínimo de níquel (hasta 0,2-0,3%) sobre la base de la elevación de la eficiencia industrial. Por último, se recomienda la búsqueda de nuevos tipos de yacimientos hipergenéticos de níquel.

La puesta en práctica de estas propuestas, según los autores, puede duplicar el valor de las lateritas níquelíferas y por consiguiente aumentar las posibilidades de exportación del país.