

ESTUDIO DE UNA MUESTRA DE GRAFITA

DE EJUTLA, ESTADO DE OAXACA.

Por el Ingeniero de Minas, Juan D. Villarelo.

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS.

La muestra mineral es de color negro de hierro, lustre metálico, dureza de 2, densidad variable según los fragmentos, entre 2.27 y 2.49, es untuosa al tacto, mancha los dedos, y sobre el papel deja una huella de color gris. Por estos caracteres físicos debe clasificarse como grafito.

*
* *

Para ensayar este mineral seguí el método de F. S. Ayde,¹ después de secar la muestra en la estufa á la temperatura de ebullición del agua, y obtuve los siguientes resultados:

Humedad	0.51%
Materias volátiles	2.99
Carbón fijo	72.40
Cenizas	24.10
Suma	100.00%

¹ The Mineral Industry. New York y London. 1901. Tomo IX, pág. 381.

Procedí en seguida á hacer la análisis de las cenizas. El reconocimiento cualitativo indicó la presencia de los siguientes componentes:

SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 y vestigios de CaO .

Fundí las cenizas con 4 partes de carbonato de potasa sodado, traté la masa fundida por ClH y H_2O , evaporé á sequedad, humedecí el residuo con ClH , evaporé de nuevo á sequedad y luego traté por ClH y H_2O . La parte insoluble formada por SiO_2 , después de filtración y lavado, la calciné y pesé. La disolución ácida la precipité en caliente por K_2O , y lavé, calciné y pesé el precipitado de Fe_2O_3 . La solución alcalina anterior la neutralicé con ClH , y precipité Al_2O_3 con AzH_3 , precipitado que lavé, calciné y pesé. Los resultados de esta análisis cuantitativa fueron los siguientes:

	Contenido en el 24.10 p. g. de ceniza.	Contenido en 100 partes de ceniza.
Siliza..... SiO_2	13.16	54.56 p. g.
Sexquióxido de fierro Fe_2O_3	9.40	38.97 „
Alúmina	Al_2O_3 1.56	6.47 „
Cal..... CaO	vestigios.	vestigios.
Suma.....	= 24.12	100.00

ESTUDIO INDUSTRIAL.

La muestra mineral cuya análisis antecede es una grafito, conocida también con los nombres de plom-bagina ó plúmbago, y sus aplicaciones en la industria son tan numerosas como grande su consumo.

En varias naciones y principalmente en los Estados Unidos y en Inglaterra, la cantidad de grafito consumida anualmente alcanza cifras muy elevadas, y como la producción en las dos últimas es muy inferior al consumo, la importación es considerable, no obstante que desde el año 1897 se está produciendo también la grafito artificial en los Estados Unidos.

Para tener una idea acerca de las cantidades de grafito que representan la producción y el consumo en los Estados Unidos, me parece interesante el siguiente cuadro estadístico:¹

GRAFITA NATURAL.

AÑOS.	PRODUCCION.		IMPORTACION.		CONSUMO.	
	Toneladas métricas.	Precio oro.	Toneladas métricas.	Precio oro.	Toneladas métricas.	Precio oro.
1891	648	\$ 75,350	9,641	\$ 555,080	10,325	\$ 630,430
1892	589	649,200	10,602	667,775	11,191	732,695
1893	400	39,731	13,112	865,379	13,512	905,110
1894	350	34,689	5,284	225,720	5,634	260,409
1895	171	17,286	9,136	260,111	9,307	277,397
1896	184	18,225	15,356	437,189	15,540	455,411
1897	450	44,691	8,677	270,952	9,127	315,643
1898	748	82,385	13,710	743,820	14,458	326,205
1899	1,649	145,304	18,880	1,990,649	20,529	2,135,953
1900	1,862	164,122	14,663	1,390,141	16,525	1,554,263
1901	1,801	135,914	14,563	895,375	16,354	1,031,269

¹ The Mineral Industry. Tomos IV. pág. 375; V, pág. 326; X, pág. 367. Mineral Resources of the United States. 1903. Washington. pág. 900. Los datos fueron reducidos al sistema métrico decimal.

GRAFITA ARTIFICIAL.			
AÑOS.	PRODUCCION.		
	Toneladas.	Precio total oro.	Precio oro por tonelada.
1897.....	73	\$ 10,149	\$ 139
1898.....	84	11,603	138
1899.....	184	32,475	176
1900.....	390	68,860	176
1901.....	1,135	119,000	104

Las principales aplicaciones de la grafita en la industria son las siguientes: fabricación de lápices, crisoles refractarios y pinturas para estufas y para resguardar techos de lámina ó piezas de fundición, así como chimeneas ó calderos, para lo cual es muy duradera; se emplea como lubricante y también para cubrir la superficie de los granos de pólvora y la munición; se usa en la galvanoplastia para hacer conductora la superficie de los moldes, y en el trabajo electrometalúrgico, para fabricar electrodos; y se utiliza en los cepillos para dinamos y para cubrir los moldes en que se vacía la fundición de hierro.

Para la manufactura de lápices y para la fabricación de lubricantes se necesita grafita de calidad muy fina; y para saber si la muestra en estudio puede usarse en estas aplicaciones, compararé su composición química y su estructura física con la grafita de varias localidades llegando á los siguientes resultados.

Para comparar con facilidad la composición química de la grafita enviada de Ejutla, Estado de Oa-

xaca, con la de grafitas de buena calidad y de distintas procedencias formé el siguiente cuadro, tomando las análisis de Ch. Mene¹ y otras del Report of Geological Survey of Canada:

COMPOSICION QUIMICA DE VARIAS GRAFITAS.									
PROCEDENCIA.	Densidad.	Materias volátiles. Por ciento.	Carbón. Por ciento.	Cenizas. Por ciento.	COMPOSICIÓN DE CENIZAS.				
					Silica. Por ciento.	Alúmina. Por ciento.	Oxidos de Hierro. Por ciento.	Cal Por ciento.	Albúla y pérdida. Por ciento.
Ceylán .....	.....	0.158	99.792	0.050	.....	.....	.....	.....	.....
Ceylán	2.35	0.10	94.40	5.50	.....	.....	.....	.....	.....
Buckingham.....	.....	0.109	99.815	0.076	.....	.....	.....	.....	.....
Oural, Albert	2.17	0.71	94.03	5.25	64.2	24.7	10.0	0.8	0.3
Borrowdale.....	2.34	1.10	91.55	7.35	52.5	28.3	12.0	6.0	1.2
Mugran.....	2.12	4.10	91.05	4.85	61.2	28.5	8.0	0.7	1.0
Schwarzbach.....	2.17	1.05	88.05	10.90	62.0	28.5	6.3	1.5	1.7
Passan.....	2.39	7.30	81.02	11.62	53.7	35.6	6.8	1.7	2.2
Ejutla, Oaxaca.....	2.38	2.99	72.40	24.10	54.56	6.47	38.97	Vestigios	.....

Como se ve en el cuadro anterior la grafitas de Ejutla ocupa el último lugar por su composición química, pues tiene mucho menos carbón y más cenizas que las reconocidas como de buena calidad. Con el objeto de ver si es posible purificarla, procedí de la siguiente manera:

Hice tamizar la muestra, tal como fué remitida, por telas de distintos números, y obtuve el siguiente resultado:

¹ Wagner & Gautier. Nouveau Traité de Chimie Industrielle. París, 1879. Tomo II, pág. 872.

Quedó en la tela del número	20 — 40.1 p.⊖	
" " " " " "	30 — 11.0	} 55.5 por ciento. } Ensaye núm. 2.
" " " " " "	40 — 16.2	
" " " " " "	50 — 6.8	
" " " " " "	60 — 21.5	
" " " " " "	80 — 11.3	
" " " " " "	100 — 0.5	
Pasó por " " " " "	100 — 2.6	
	<hr/>	
Suma.....	100	

Ensayé el polvo de grafita que quedó desde la tela del 30 hasta la del 60 inclusive, y que representa el 55.5% del total de la muestra tamizada. El resultado fué el siguiente:

Ensaye número 2.

Humedad.	0.40%
Materias volátiles.	1.65
Carbón	79.95
Cenizas	18.00
	<hr/>
Suma	100.00%

Se pulverizó en seguida la grafita que había quedado en la tela del número 20, y este polvo se hizo pasar por todos los tamices y quedó:

En la tela del número	30 — 14 p.⊖	} Ensaye número 3.
" " " " " "	40 — 24 "	
" " " " " "	50 — 11 "	
" " " " " "	60 — 5 "	
" " " " " "	80 — 8 "	
" " " " " "	100 — 3 "	
Pasó por la tela del n°	100 — 35 "	Ensaye número 4.
	<hr/>	
Suma.....	100	

Ensayé luego por separado el polvo que quedó en las telas, y la que pasó por la del número 100.

Ensaye número 3.

Humedad	1.00%
Materias volátiles	2.50
Carbón	63.00
Cenizas	33.50
	<hr/>
Suma	100.00%

Ensaye número 4.

Humedad	0.90%
Materias volátiles	2.20
Carbón	60.90
Cenizas	36.00
	<hr/>
Suma	100.00%

Por los resultados anteriores se comprende: que las partes gruesas de la muestra son las más impuras; y que separando éstas por medio de telas, se puede obtener un producto que representa la mitad aproximadamente del peso total del mineral, y que contiene un 7.5% de carbón más que el mineral en conjunto, y un 6% menos de cenizas.

Procedí en seguida á purificar la grafitita en estudio por el sistema empleado en Austria¹ y también en México, en las minas de Torres. Al efecto pulvericé la grafitita con un exceso de agua y dejé asentar en un depósito la parte más pesada y en otro la más ligera.

En el primer receptáculo se depositó el

	32%	Ensaye número 5.
Y en el segundo	54	„ „ 6.
	<hr/>	
Suma	86%	

¹ The Mineral Industry. Tomo 20. 1893. pág. 336.

Los resultados de los ensayos de estos depósitos fueron los siguientes:

Ensayo número 5.

Humedad	0.7%
Materias volátiles	2.1
Carbón.	66.8
Cenizas	30.4
	<hr/>
Suma	100.0%

Ensayo número 6.

Humedad	0.5%
Materias volátiles.	1.8
Carbón.	81.6
Cenizas.	16.1
	<hr/>
Suma.	100.0%

Se comprende por estos resultados, que el sistema de molienda y lavado purifica la grafito en estudio y da un producto que, si no es comparable con las excelentes grafitas de Ceylán, se aproxima por su composición química á la plumbagina de Passau y Baviera.

Para terminar la purificación de la grafito en estudio, seguí el método de Brodie, mezclando el polvo fino lavado con la vigésima parte de su peso de clorato de potasa y con el doble de su peso de ácido sulfúrico de densidad 1.8; calenté á una temperatura moderada hasta que ya no se desprendieron vapores de cloro; lavé por decantación con agua; sequé la masa, calenté al rojo y traté el residuo por agua, recogiendo la parte más

ligera. El ensaye de esta grafito purificada dió los siguientes resultados:

Ensaye número 7.

Humedad.	0.70%
Materias volátiles.	1.05
Carbón	84.05
Cenizas.	14.20
	—————
Suma.	100.00%

Como la grafito en estudio tiene bastante siliza, no se puede purificar por completo siguiendo este sistema, sino que habría necesidad de tratarla por el ácido fluorhídrico, como lo indica también Brodie; pero estos tratamientos químicos son costosos y antieconómicos para el presente caso, y por lo mismo creo conveniente la purificación parcial de la grafito en estudio por el sistema de simple lavado después de pulverizar el mineral.

La calidad de la plumbagina depende más de su estructura física que de su composición química, razón por la cual fué necesario el estudio microscópico de la grafito de Ejutla. Por este estudio, que fué hecho por el Sr. Ing. E. Ordóñez, se llegó al siguiente resultado: la grafito de Ejutla es cristalina y se encuentra en láminas de seis lados, de los cuales tres están mucho más desarrollados que los otros tres, de tal suerte que parecen triángulos con los vértices truncados; el crucero de la base es perfecto, y aunque domina la estructura hojosa, en algunas partes es fibrosa; es por su estructura igual á la grafito de las minas de Torres en Sono-

ra; y se perciben perfectamente en el microscopio granos de óxido de fierro hidratado que constituyen una parte de las impurezas que contienen y que indicó la análisis química.

Los resultados del estudio anterior por una parte, y por otra, el hecho de que el mineral en estudio no aumenta de volumen después de humedecerlo con ácido nítrico humeante, secarlo y calentarlo á una temperatura superior á 175°, permiten clasificar este mineral con M. Luzzi¹ como una grafita cuya estructura no es claramente hojosa.

Conocida ya la estructura física de la grafita en estudio, puedo decir que: para la fabricación de lápices no es muy apropiada, por ser impura, y estas impurezas son muy difíciles de eliminar por completo;² y tampoco es apropiada para la fabricación de lubricante, pues para este uso se requiere grafita de la mejor calidad, y suave en alto grado.

Para saber si una grafita puede usarse en la fabricación de crisoles refractarios, es preciso conocer el dato relativo á su incombustibilidad, pues este dato, según H. Putz,³ es mucho más importante que el que se refiere á la fusibilidad de las cenizas. Comparando la incombustibilidad de varias grafitas, se forma el siguiente cuadro:

1 Annales des Mines.—10^e série, tomo III, pág. 54. 1903.

2 Annales des Mines.—10^e série, tomo III, pág. 51. 1903. M. L. de Launay.

3 Journal of Iron and Steel Institute. 1888. I. pág. 286.

LOCALIDADES.	ANÁLISIS.			Pérdida por ciento en la ignición de la grafito, privada de las materias volátiles y calculada para pesos iguales de carbón.				Heras transcurridas hasta obtener pesos constantes de la ceniza.
	Agua.	Carbón.	Cenizas.	1 hora.	2 horas.	3 hora.	4 horas.	
Ceylon, excelente calidad.....	0.0 %	97.5 %	2.5 %	89.74	96.16	100.00	100.00	3
Ceylon, buena calidad.....	7.5 "	83.5 "	9.0 "	71.85	85.50	93.85	99.60	8
Ceylon, ordinaria..	5.0 "	82.5 "	32.5 "	61.58	71.00	80.83	90.94	14
Pfaffeureuth, purificada.....	0,0 "	85.0 "	15.0 "	69.41	80.58	87.50	82.24	10
Idem lavada con fluorhídrico.....	0,0 "	70.0 "	Vestigios	94.50	97.50	100.00	.....	3
Ejutla.....	0.51 "	72.40 "	24.10 "	98.30	100.00	100.00	.....	2

Como se ve, la grafito de Ejutla es la menos incombustible de todas las comparadas; y como al quemarse se funde en parte la ceniza, creo no se podrán fabricar con ella crisoles de excelente calidad.

Por su composición química, es semejante esta grafito á la de Kaiserberg en St. Michel Styria y ésta es muy refractaria tanto por la incombustibilidad de su carbón, como por estar su ceniza formada principalmente por siliza. La análisis de esta grafito es la siguiente:¹

¹ The Mineral Industry. Tomo II, pág. 336. 1893.

C. carbón.	77.95%
SiO ² siliza	13.04
Al ² O ³ Alúmina	6.12
Fe ² O ³ Sexquióxido de fierro	0.44
CaO. cal	0.08
MgO Magnesia	0.07
K ² O Potasa.	0.43
Na ² O Sosa.	0.15
S. Azufre	vestigios.
Ph ² O ⁵ Fosfórico	0.01
H ² O Agua.	1.95
Suma.	100.24

No obstante la semejanza que existe entre esta composición química y la indicada antes para la grafita en estudio, la incombustibilidad de las dos es muy diferente; y si la de Kaiserberg se usa en la manufactura de crisoles refractarios, la de Ejutla no puede considerarse de clase superior para esta aplicación.

Para las otras aplicaciones industriales de la grafita, ó sea: para la fabricación de pintura, para electrodos y cepillos para dinamos, para cubrir la superficie de los granos de pólvora y municiones, así como los moldes en que se vacía la fundición de fierro, no se necesita mineral de muy buena calidad;¹ y por lo mismo para todas estas aplicaciones puede usarse la grafita en estudio, y con buenos resultados si se purifica por el lavado como dije antes.

¹ The Mineral Industry. 1900. Tomo VIII, pág. 348.

IMPORTACIONES DE GRAFITA EN

ESTUDIO COMERCIAL.

Muy pocos datos comerciales podré indicar, pues la etiqueta que acompaña á la muestra, no indica con exactitud la localidad de la cual procede ésta, ni viene una muestra de la roca que acompaña á la grafito, ni dato alguno geológico que permitiera juzgar acerca del valor comercial del yacimiento; y, por lo tanto, me limitaré á indicar el precio probable que tendría esta muestra purificada, y los mejores mercados extranjeros para la venta de este producto mineral.

Atendiéndolo á su precio, la grafito se divide en cuatro clases; pedazos grandes, pedazos medianos, astillas y polvo. Las dos primeras clases valen aproximadamente de \$73.00 á \$90.00 oro, la tercera de \$64.00 á \$73.00, y el polvo de \$50.00 á \$64.00 por tonelada métrica. Los precios anteriores varían mucho, y así por ejemplo: en 1899, á principios del año, se vendió el polvo de grafito á \$25.00 tonelada, y á fines de ese año el polvo valía \$55.00; en 1900 subió el precio un 18.24%, y en 1901 bajó un 15.20%. Por lo mismo, y para conocer á la vez cuáles son los mejores mercados extranjeros, formé el siguiente cuadro de importaciones y precios de la grafito en diversas naciones y durante seis años, expresando las importaciones en toneladas métricas y los precios en pesos oro.

Año	País	Importación (toneladas métricas)	Precio (pesos oro)
1899	Estados Unidos	288	25.00
1900	Estados Unidos	208	55.00
1901	Estados Unidos	282	46.00

* The Mineral Industry, 1901.

IMPORTACIONES DE GRAFITA* EN

AÑOS.	ALEMANIA.			AUSTRIA.		
	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.
1895	12,565	\$ 425,000	\$ 34	640	\$ 10,426	\$ 16
1896	13,718	450,000	33	697	11,241	16
1897	17,366	600,000	34	948	15,322	16
1898	20,269	950,000	47	1,109	18,159	16
1899	23,400	1,075,000	46	815	13,491	16
1900	22,495	955,000	42	305	5 337	18
AÑOS.	ESTADOS UNIDOS.			INGLATERRA.		
	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.
1895	9,138	\$ 260,111	\$ 28	10,526	\$ 887,100	\$ 84
1896	15,356	437,189	28	13,861	1,121,195	81
1897	8,677	270,952	31	13,472	1,104,430	82
1898	13,710	743,820	54	15,113	1,506,805	100
1899	18,880	1 990,649	105	17,777	2 307,935	130
1900	14,663	1,390,141	94	14,962	1,733,805	116
AÑOS.	SUECIA.			ITALIA.		
	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.	Toneladas.	Precio.	Precio por tonelada.
1895	134	\$ 7,244	\$ 54	261	\$ 12,978	\$ 60
1896	135	7,311	54	204	12,264	60
1897	158	8,519	54	315	18,882	60
1898	167	9,008	54	382	26,726	70
1899	162	8,729	54	608	42,581	70
1900	213	11,486	54	982	68,740	70

* The Mineral Industry, 1900.

Por los datos anteriores, se ve que: con excepción de Austria, en todas las demás naciones el precio de la grafita subió notablemente desde el año de 1898; en Austria, Suecia é Italia, la importación es relativamente pequeña; y en Alemania, Estados Unidos é Inglaterra la importación de la grafita es considerable, siendo los precios medios en Alemania, \$45.00; en Estados Unidos, \$81.00 y en Inglaterra \$115 por tonelada métrica.

Como la grafita en estudio se encuentra la mayor parte en polvo, puede decirse que: purificada podrá venderse en Alemania, Estados Unidos é Inglaterra á \$45.00 aproximadamente, por tonelada métrica.

CONCLUSIONES.

Como resumen de todo lo anterior, pueden formularse las siguientes conclusiones:

1.^a—La muestra mineral estudiada es una grafita impura, constituida la impureza principalmente por siliza y óxido de fierro hidratado.

2.^a—Puede purificarse parcialmente esta grafita por pulverización y lavado con agua, y dará entonces un producto semejante á la grafita de Passau (Baviera).

3.^a—Por su estructura física cristalina en láminas hexagonales, es igual á la grafita de Torres (México).

4.^a—No es muy refractaria por no ser muy incombustible su carbón, y ser en parte fusibles sus cenizas.

5.^a—No es muy apropiada para la fabricación de lá-

pices, ni como lubricante por ser impura, ni para hacer crisoles, por no ser excesivamente refractaria.

6.^a—Se puede emplear, sobre todo después de purificarla por medio del lavado, para los siguientes usos: fabricación de pintura para estufas, chimeneas, calderos, piezas de fundición y techos de lámina, para cubrir la superficie de los granos de pólvora y municiones; en la galvanoplastia para hacer conductora la superficie de los moldes, para fabricar electrodos y también cepillos de dinamos; y por último, para revestir los moldes en que se vacía la fundición de fierro.

7.^a—Su precio es el de la grafita en polvo, aproximadamente \$45.00 oro por tonelada métrica, y los mejores mercados para su venta son: Estados Unidos, Inglaterra y Alemania.

8.^a—Los datos indicados en este estudio no pueden servir por sí solos para determinar el valor comercial del yacimiento, pues faltan los datos muy interesantes relativos á la ubicación y condiciones geológicas del yacimiento del cual proviene la muestra estudiada.

Instituto Geológico. México, Julio 31 de 1903.