

NUEVO APARATO PARA ENSAYOS DE FLOTACION DE CARBONES

POR

JOSE MANUEL PERTIERRA

El método más satisfactorio, para determinar las características de lavado de un mineral y especialmente de los carbones, es realizar el ensayo de flotación con líquidos de densidad creciente, para conocer la distribución densimétrica de sus componentes. La mayoría de los procesos de lavado del carbón o de concentración de minerales, dependen en su acción de la diferencia entre la densidad del mineral y sus impurezas. El carbón, siendo más ligero, es separado, de la impureza mineral más pesada.

Los ensayos de separación densimétrica con líquidos densos, sirven de guía utilísima para controlar los procesos de lavado, por flotación con espuma, a pesar de que este proceso, no depende de las diferencias de densidades del carbón y la pizarra.

Para determinar las características de lavado, de una muestra de carbón bruto, ésta debe primeramente ser clasificada, según varios tamaños. Cada parte es entonces ensayada, con una serie de



líquidos de densidad creciente, para determinar las cantidades que flotan y hunden en cada uno de estos líquidos, y conocer de este modo, el valor medio de sus pesos específicos. Esta separación granulométrica y densimétrica, suministra datos en relación a la concentración de las impurezas, en los diferentes tamaños del carbón.

APARATOS PARA ENSAYOS DENSIMETRICOS

Por los trabajos de R. Lessings (J. Chem. Soc. 117, 247, 256, 1920; T. Inst. Min. Eng. 50, 288, 1920; Fuel, 1922 Agosto) se conoce que el peso específico de los constituyentes del carbón, crece en el orden: vitreno, durenó y fuseno.

Para la separación de estos constituyentes macroscópicos del carbón entre sí y de las impurezas minerales o inorgánicas, se han propuesto diversos métodos y aparatos, fundados en la flotación o hundimiento, en líquidos de determinados pesos específicos. (Gross, Kohle und Erz, 22, 672, 1925; Simmersbach, Stahl und Eisen 33, 2027, 1913; Sulfrían, Gluckauf, 57, 1115, 1141, 1921; Schuchardt, Chem. Ztg. 45, 891, 1921; R. Wuster, Gluckauf, 61, 61, 1925; Kegel, Gluckauf, 61, 193, 1925) sin que ninguno llene las condiciones de sencillez y utilidad, en opinión de M. Dunkel (Mitt. a. d. Schlesischen Kohlenforschungsinstitut der Kaiser-Wilhelm-Ges. in Breslau, tom. 11, 184).

El empleo de soluciones acuosas concentradas, como líquidos densos, para efectuar dicha separación, no permite alcanzar un buen mojado del carbón, que elimine la acción perturbadora de las burbujas de aire adheridas a su superficie. Además, la elevada viscosidad de tales soluciones, determina velocidades de precipitación, pequeñas para los fines prácticos.

M. Dunkel propuso el empleo de líquidos orgánicos, soluciones de tetracloruro de carbono en xilol y un aparato de separación formado por un tubo vertical fig. 1 A. La mezcla carbón-líquido orgánico, es agitada mediante aire o dióxido de carbono y separada por reposo en dos capas; una de carbón que flota y otra hundida, formada por un carbón más impuro. Luego introduciendo

do, por el tubo lateral más líquido, se desplaza la capa que flota, para ser recogida, desecada y pesada. El carbón hundido, más den-

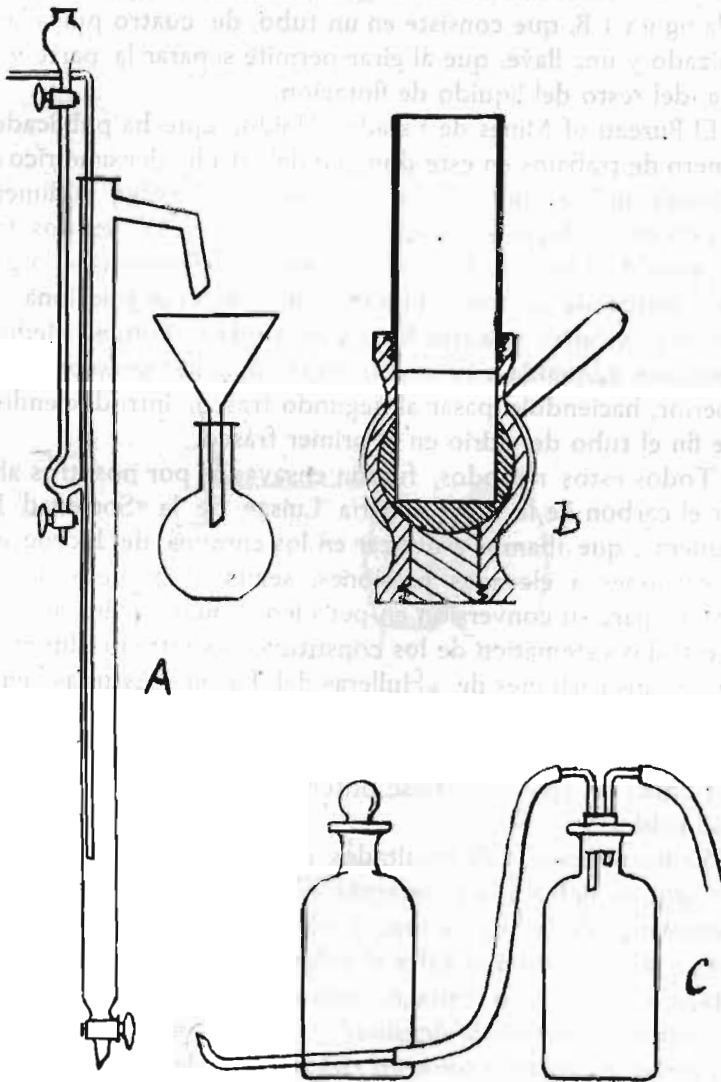


Fig. 1

so que el líquido de separación utilizado, se evacua por la llave inferior.

H. F. Yancey y Th. Frasser (University of Illinois. Bull. número 36, 1921) que desde hace muchos años, vienen publicando estudios en este dominio, han utilizado primeramente el aparato indicado en la figura 1 B, que consiste en un tubo, de cuatro pulgadas, galvanizado y una llave, que al girar permite separar la parte que no flota, del resto del líquido de flotación.

El Bureau of Mines de Estados Unidos, que ha publicado gran número de trabajos en este dominio del estudio densimétrico de los carbones, utiliza (Bull. número 337) un aparato algo rudimentario para efectuar dicha separación. Consiste, fig. 1 C, en dos frascos de vidrio de 2 lbs., en donde mediante líquidos densos orgánicos (tetracloruro de carbono diluido con benzol) se fracciona el carbón en dos capas, una que flota y otra que se hunde. Mediante la aspiración, obtenida con una trompa de agua, se separa la capa superior, haciéndole pasar al segundo frasco, introduciendo para este fin el tubo de vidrio en el primer frasco.

Todos estos métodos, fueron ensayados por nosotros al estudiar el carbón de la mina «María Luisa» de la «Sociedad Duro-Felguera», que íbamos a utilizar en los ensayos de hidrogenación de carbones a elevadas presiones, según el proceso del Dr. F. Bergius, para su conversión en petróleo. Y más tarde, al efectuar un estudio sistemático de los constituyentes vitreno, durenó y fuseno en los carbones de «Hulleras del Turón» Asturias, en relación a su influencia, en el mecanismo de la formación de un buen cok metalúrgico, hubimos de proyectar un aparato de separación para aquel fin, que permitiese obtener resultados perfectos y reproducibles.

La no obtención de resultados exentos de error, con dichos métodos, se debía a la adherencia de partículas a las paredes, en el momento de la separación, la falta de rapidez en la precipitación, a la variación que sufre el valor de la densidad del líquido de flotación, durante un contacto prolongado con el carbón, que obliga a utilizar líquidos de densidad 0,01 a 0,07 más elevada, debido a la penetración de la solución en los poros del carbón, etc.

La casa H. Mergard de Barcelona, nos ha construido, venciendo grandes dificultades, el aparato por nosotros diseñado e indicado en la fig. 2, todo de vidrio grueso resistente y apropiado para ser manipulado frecuentemente.

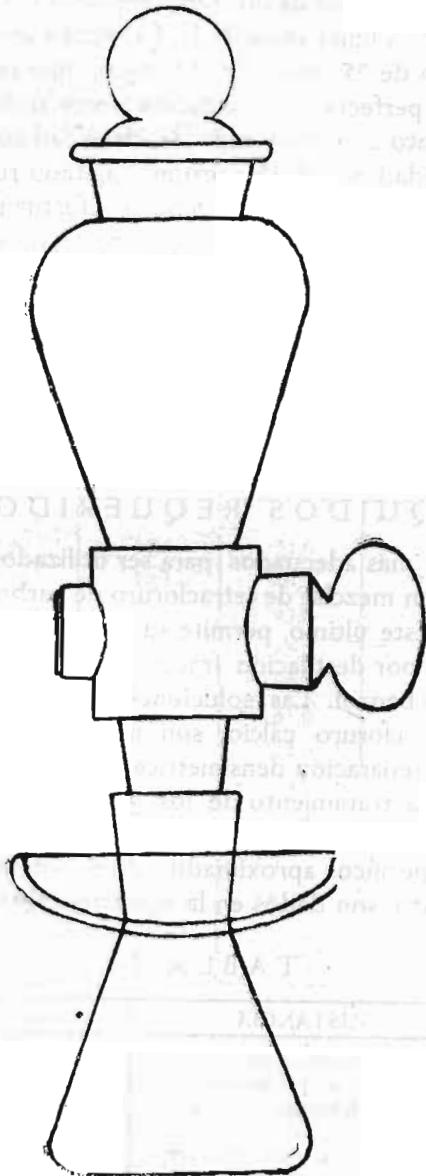


Fig. 2

El aparato se compone de dos recipientes tronco—conicos, unidos entre sí por una junta esmerilada. La pieza superior, lleva una llave con un paso de 25 mm. de diámetro, que permite cuando está abierta, una perfecta comunicación entre ambos recipientes. Llenando el aparato con un líquido de densidad conocida (d 1,20 a 1,60), una cantidad pesada de carbón y agitado fuertemente durante un corto tiempo, se deja en reposo, efectuándose entonces una separación del carbón, en dos capas perfectamente definidas; una superior que flota sobre el líquido por ser menos densa y otra inferior, que se ha hundido, debido a ser más densa que el líquido. Cerrada la llave, se desunen las dos partes del aparato. Un reborde unido a la pieza inferior, evita toda pérdida de líquido. Filtradas por papel, las dos porciones del líquido, para separar las dos capas del carbón, se pesan éstas, después de ser desecadas.

LIQUIDOS REQUERIDOS

Los líquidos más adecuados para ser utilizados como medios de separación, son mezclas de tetracloruro de carbono con benzol, tolueno o xilol. Este último, permite su separación de el tetracloruro de carbono por destilación fraccionada, con mayor facilidad que el tolueno o benzol. Las soluciones acuosas propuestas, de cloruro de cinc o cloruro calcio, son utilizadas preferentemente para ensayos de separación densimétrica en depósitos de 50 cm. de profundidad, para tratamiento de los grandes tamaños en gran escala.

Los pesos específicos aproximados, de los materiales hallados en el carbón bruto, son dados en la siguiente tabla I.

T A B L A I

SUSTANCIA	Peso específico
Carbón bituminoso puro	1,12 a 1,35
» » impuro	1,35 a 1,6
Pizarras carbonosas	1,6 a 2,2
Pizarra	2,0 a 2,6
Arcilla	1,8 a 2,2
Piritas	4,8 a 5,2
Rocas	2,2 a 2,6
Cuarzo	2,5 a 2,7
Mica	2,7 a 2,0
Ankeritas	2,5 a 2,7

El peso específico del carbón, varía según su grado de humedad y en cierta proporción con el tamaño del carbón; a mayor tamaño, menor es el peso específico aparente.

Las soluciones de líquidos necesarios para fraccionar el carbón según las densidades de sus diversos componentes, deberán poseer densidades entre 1,30 a 1,60.

Estas soluciones, pueden obtenerse por mezcla de las siguientes proporciones en volúmenes, de los siguientes líquidos, utilizando para su fácil preparación una probeta bien graduada.

T A B L A I I

Pesos específicos	% de Tetaclo- ruro de carbono	% de tolueno	% de bromoformo
1,20	44,4	55,6	
1,25	51,2	48,8	
1,30	58,0	42,0	
1,35	64,8	35,2	
1,40	71,5	28,5	
1,45	78,1	21,9	
1,50	85,1	14,9	
1,55	91,9	8,1	
1,60	98,7	1,3	
1,80	85		15
2,0	70		30
2,2	54		46

El benceno, puede ser utilizado en lugar del tolueno. Cuando exista dificultad para obtener estos compuestos orgánicos, se recurre a las soluciones acuosas concentradas de sales. Las densidades de estas soluciones, conteniendo los siguientes porcentajes en peso, de las sales anhidras correspondientes, son:

T A B L A I I I

Peso específico a 15°C	Grm. de cloruro de cinc por 100 grm. de solución	Grm. de cloruro de calcio por 100 grm. de solución
1,25	26	26
1,30	31	31
1,35	35	35
1,40	39	40
1,45	42	
1,50	46	
1,55	49	
1,60	52	
1,65	55	
1,70	58	
1,74	60	

Para las hullas, es suficiente obtener datos hasta con el líquido de densidad 1,60 y es recomendable generalmente la serie 1,35, 1,40, 1,50 y 1,60. Si el carbón posee una fracción de peso específico 1,40—1,60, superior a 10 a 12 % deberá efectuarse un ensayo a la densidad 1,80. Y con antracitas, es útil el ensayo con líquidos de densidades más elevadas.

Los líquidos orgánicos, son preferibles siempre a las soluciones acuosas, pues las fracciones obtenidas en el ensayo de separación densimétrica, no precisarán ser lavados, para eliminar trazas de la solución y el desecado se efectúa rápidamente por exposición al aire o en una estufa. El ensayo de control de un lavadero de carbones, es de este modo completado en tiempo corto y el gasto no es mucho más elevado.

MODO DE EFECTUAR EL ENSAYO

La muestra desecada al aire o en estufa y pesada, se coloca en el aparato, cuyas dos partes estarán ya enlazadas por la junta es-

merilada; tendrá la llave abierta y contendrá el líquido de densidad menor, p. ej. 1,35. Agitado durante unos momentos para homogeneizar la masa, se deja en reposo. La parte que no flota en este ensayo, se coloca en el líquido siguiente, en orden creciente de pesos específicos y es fraccionada en dos partes de modo análogo. La determinación de las cenizas de cada fracción del carbón así obtenidas, permite construir las curvas de lavado y realizar la deducción de las interesantes conclusiones, que luego se indicaran.

Las muestras deben secarse al aire o en estufa a 105-110°C durante una hora, porque sino la densidad de la solución acuosa, puede variar después de ser utilizada varias veces con carbones conteniendo humedad libre; y en el caso de utilizar líquidos orgánicos, el agua introducida, complica la separación por introducir efectos de tensión superficial.

El carbón tiene dos pesos específicos, uno el «verdadero» y otro el «aparente». El peso específico «verdadero» es aquél, del carbón libre de humedad y aire, y tiene poco interés en el estudio del lavado del carbón; el peso específico «aparente», incluye el agua y el aire retenido en la superficie del carbón y es el valor que interviene en el ensayo de flotación.

UTILIZACION DEL ENSAYO DE FLOTACION

En la práctica del lavado de carbones, el ensayo de flotación con el aparato antes descrito, es utilizado para poder controlar la eficacia y rendimiento de un lavadero de carbones. Después de los brillantes resultados obtenidos en América, por el Bureau of Mines, puede afirmarse que esta aplicación es una de las de mayor utilidad y que no debería faltar en las instalaciones de lavado, el estudio frecuente del carbón bruto y los productos, por el análisis densimétrico y granulométrico científicamente realizado.

El ensayo de flotación de un carbón permite:

- 1.—Sugerir el tipo de proceso de lavado más adecuado para cada carbón.

2.—Decide la naturaleza de los productos, que pueden ser preparados con el carbón y los rendimientos teóricos.

3.—Interpreta los resultados de los ensayos prácticos de lavado e indica el tipo de lavado, que debe producir los mejores resultados. (1)

A continuación, recogemos y examinamos comentándolas, diversas aplicaciones deducidas del análisis densimétrico, que han aparecido en publicaciones de varios países.

ELECCION DEL PROCESO DE LAVADO

El análisis por flotación de un carbón, ha suministrado los datos siguientes:

T A B L A I V

Tamaño	Cenizas %	PESO ESPECIFICO									
		< 1,34		1,34—1,4		1,4—1,5		1,5—1,6		> 1,6	
		peso %	ceniz. %	peso %	ceniz. %	peso %	ceniz. %	peso %	ceniz. %	peso %	ceniz. %
10—1 mm	14,4	81,0	1,6	1,4	10,7	0,5	16,1	0,1	20,1	17,0	76,2

Se ve claramente, que solo 2,0 % del carbón, posee un peso específico entre 1,34 y 1,6. La fracción que se hunde en el líquido 1,6, contiene 76,2 por % de cenizas y es por esto un material pesado, probablemente un esquisto puro, el cual puede ser separado fácilmente del carbón ligero y de la fracción media o mixtos del carbón. El ensayo de análisis densimétrico, indica que dicho carbón es por esto, fácil de lavar.

En la siguiente tabla V, se recogen los resultados del análisis por flotación, con un carbón de Westphalia:

(1) The Cleaning of Coal. W. R. Chapman y R. A. Mott.

T A B L A V

Peso específico	‰ de la muestra	Cenizas ‰ de cada fracción	ACUMULADOS	
			Pesos ‰	Cenizas ‰
<1,3	43,5	2,0	43,5	2,0
1,3—1,4	9,5	9,8	53,0	3,4
1,4—1,5	14,5	20,0	67,5	6,9
1,5—1,6	10,0	31,8	77,5	10,1
1,6—1,7	5,7	40,5	83,2	12,2
1,7—2,2	8,8	54,0	92,0	16,2
<2,2	8,0	65,5	100,0	20,1

Fácilmente se ve, que es un carbón difícil de lavar. Casi el 25 por ‰ del carbón, tiene un peso específico entre 1,4 y 1,6 y ocurre una transición gradual, entre el carbón que posee el peso específico más bajo, la fracción media y la pizarra con un peso específico superior a 1,6 o 1,7. Para lavar con éxito este carbón, deberá utilizarse un proceso, que permita una separación tajante, entre partículas muy poco diferenciadas por sus pesos específicos. La fracción media, puede ser molida y relavada.

En literatura (Draper, Proc. S. Wales Inst. of Eng. 1919; Messmore, Tesis para M. Sc. en la Universidad de Washington 1922; Randall, Records of Geolog. Survey of India. 1925) existen resultados, acerca de varios casos, donde es conveniente la molienda de piezas grandes, antes de proceder a su lavado y más adelante, recogemos unos resultados obtenidos en los laboratorios de la Universidad de Alabama, Estados Unidos, acerca de este tema.

NATURALEZA DE LOS PRODUCTOS

En otros casos, el análisis por flotación es un guía para preparar el esquema más provechoso de la operación de lavado y permite elegir la cantidad y naturaleza de los productos, que pueden obtenerse en la planta de lavado. Un ejemplo ilustra esta aplicación.

Para tratar un carbón cokizante de América, se decide construir un lavadero Chance. El método Chance, permite una separación tajante entre materiales diferenciados muy poco en sus pesos específicos, por utilizar una suspensión de arena en agua, de peso específico determinado. Por relavado de ciertas fracciones del carbón, se trata de obtener una gran variedad de productos.

En el proceso Chance, el carbón demasiado fino, no puede ser tratado y el carbón de tamaño inferior a 3/16 pulgadas (4,7 mm.), es separado antes del proceso.

La determinación de las cenizas, de los varios tamaños del carbón tamizado, indican que el carbón menor de 3/16 pulgadas, que representa el 18.79 por $\%$ del total, contiene 8,10 por $\%$ de cenizas. Sepárase primeramente el carbón en dos fracciones: fracción A, pasando por el tamiz de 4 pulgadas y siendo retenido por el tamiz de 3/16 pulgadas y la fracción B, que pasa el citado tamiz. El análisis señala los siguientes datos:

	Peso $\%$	Cenizas $\%$	Azufre $\%$
Facción A	81,21	12,09	1,28
» B	18,79	8,10	1,28
TOTAL	100,00	11,34	1,28

El ensayo de flotación de la fracción A, da los siguientes resultados:

T A B L A V I

Peso específico	Peso $\%$ de la fracción A	Ceniz $\%$	Azufre $\%$	Peso $\%$ del carbón total	Pesos $\%$ acumulados	Cenizas $\%$ acumuladas
<1,29	46,50	4,75	0,99	37,76	37,67	4,75
1,29—1,34	13,42	8,10	0,92	10,90	48,66	5,50
1,34—1,38	16,28	13,77	0,95	13,21	61,87	7,79
1,38—1,425	14,67	18,21	1,12	11,93	73,80	9,01
>1,425	9,13	42,75	4,16	7,41	81,21	12,09
	100,00	12,09	1,28	81,21	81,21	12,09

Con estos datos, se han deducido varios esquemas de lavado del carbón. Los productos obtenidos pueden ser:

a) Un carbón de cok, con alto rendimiento en peso, si se recoge todo el carbón que flota en un líquido de densidad 1,425, que es 73,80 por $\%$ del carbón total y conteniendo 9,01 por $\%$ de cenizas. Mezclado con la fracción B no lavada—18,79 por $\%$ conteniendo 8,10 por $\%$ de cenizas—suministra un carbón de cok, calculado sobre el carbón bruto, con 8,82 por $\%$ de cenizas y 1,05 por $\%$ de azufre. Sepárase un estéril en proporción de 7,41 por $\%$ del carbón bruto, con 42,75 por $\%$ de cenizas y 2,16 por $\%$ de azufre del mencionado carbón de cok, en proporción de 92,59 por $\%$ del carbón bruto.

b) Si aquel porcentaje en cenizas del carbón de cok, es demasiado elevado, se puede lavar la fracción A y recuperar solamente el carbón que flota en un líquido de densidad 1,38. Se recogerá así 61,8 por $\%$ con 7,79 por $\%$ de cenizas, que mezclado con la fracción B, dará un carbón conteniendo 7,86, por $\%$ de cenizas y de calidad cokizante satisfactoria.

c) Si la fracción que no flota en el líquido 1,38 (esquema b) es relavada en un líquido de peso específico 1,425, la cantidad 25,14 en peso, con 15,80 por $\%$ de cenizas, puede ser recuperada como un carbón de vapor y separada de 7,41 por $\%$ de estéril conteniendo 42,75 por $\%$ de cenizas.

Otros esquemas interesantes, pueden prepararse mediante los procesos de lavado que utilizan líquidos densos y ahora industrializados, con los nombres de Chance, Vooy's, Lessings, Ougree-Marihaye-M. Bertrand, en favor de los cuales se nota una tendencia acentuada en los últimos años, para la obtención de carbones conteniendo un máximo de 3 por $\%$ de cenizas, destinados a fines de utilización química de los carbones, tales como la hidrogenación o la fabricación de electrodos.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE LAVADO, EN GRAN ESCALA

El mérito relativo, de varios ensayos de lavado con aparatos industriales de un carbón, puede ser juzgado mediante el tratamiento de los productos lavados—carbón y estéril—en el aparato de flotación con líquidos densos.

Todos los aparatos industriales de lavado de carbones, excepto el proceso de flotación por espuma, pueden ajustarse para separar un carbón bruto, en carbón lavado con un peso específico p. ej. menor que 1,5 y eliminar un estéril de peso específico mayor que este valor.

El proceso de lavado, que suministre el valor mínimo para la suma: cantidad que no flota del carbón limpio + cantidad del estéril que flota, en dicho líquido 1,5, efectuará aquél con el mayor rendimiento.

También la interpretación del ensayo de flotación con líquidos densos, permite en este caso, determinar la cantidad de carbón desintegrada durante la práctica del lavado en un aparato industrial, que es un dato de gran interés.

Esta desintegración, eleva el número de partículas pequeñas y facilita la separación del carbón de la pizarra, en los mixtos o fracciones medias y por esto, eleva el rendimiento de productos comerciales.

Los resultados del ensayo de flotación con el producto lavado, pueden expresarse para cada fracción, como porcentajes de la muestra total del carbón ya lavado.

TABLA VII

Tamaño pulgadas	PESO ESPECIFICO										TOTAL pesos
	< 1,30		1,30—1,4		1,4—1,5		1,5—1,6		> 1,6		
	Peso %	Cen. %	Peso %	Cen. %	Peso %	Cen. %	Peso %	Cen. %	Peso %	Cen. %	
< 1—3/4	20,2	2,9	10,5	7,8	5,0	12,8	2,0	25,6	1,2	45,2	38,9
• 1 3/4—1	14,8	2,8	8,2	7,8	5,0	16,8	0,5	21,8	1,5	41,1	30,0
1—3/4	2,7	3,4	1,0	9,1	0,4	15,6	0,2	25,0	—	—	4,3
3/4—1/2	1,2	1,8	0,9	8,8	0,3	16,5	0,1	25,2	0,2	42,7	2,7
1/2—1/4	8,7	2,2	3,0	12,0	1,4	18,5	0,7	27,5	1,8	54,0	15,8
1/4—0	5,6	2,2	1,4	7,4	0,3	15,0	0,2	24,7	0,8	61,8	8,3
	53,4	2,6	24,8	8,0	12,4	14,9	3,9	25,1	5,5	48,0	100,0

De modo análogo, pueden obtenerse datos numéricos para el estéril y expresarlos para cada fracción, referidos como porcentajes, sobre la muestra total del estéril.

Conocidos los pesos de carbón lavado y de estéril, se pueden calcular sus proporciones relativas. Si estas proporciones son: n para el carbón lavado y $1-n$ para el estéril, referidas al carbón bruto, multiplicando cada porcentaje individual en la tabla VII por n , expresaremos los pesos de cada fracción del carbón lavado, como porcentajes del carbón bruto.

En este ensayo, $n=0,892$ y $1-n=0,108$. El porcentaje del carbón bruto de tamaño $<1\ 1/3$ que pasa al carbón lavado y flota en el líquido de densidad, 1,30 es $20,2 \times 0,892 = 18,0$ por $\%$.

De modo análogo, multiplicando por $1-n$, los pesos de cada fracción del estéril, se pueden expresar relacionados a 100 del carbón bruto.

Realizados estos cálculos, se ha preparado la tabla VIII, donde la comparación de los ensayos de flotación del carbón bruto y de una muestra grande de los productos, carbón lavado y estéril permite deducir importantes conclusiones.

Aparece en esta tabla (columna última), que del 38,9 por $\%$ del carbón bruto (B) del tamaño $<1\ 3/4$ de pulgada, un 3,0 por $\%$ se ha fracturado durante el lavado y el 10,5 por $\%$ del carbón bruto, sufre igual suerte para el tamaño $1-3/4$. Debido a esta desintegración, el lavadero suministra más partículas de carbón «puro», que las existentes en el carbón bruto y éstas, se concentran en la fracción de peso específico 1,3—1,4 (carbón bruto 19,1 por $\%$, carbón lavado 22,1 por $\%$).



TABLA VIII

Comparación del carbón bruto y los productos lavados. Pesos en porcentajes del carbón bruto B y de la suma de los productos P.

Tamaño pulgadas	PESO ESPECIFICO										TOTAL	
	< 1,3		1,3—1,4		1,4—1,5		1,5—1,6		> 1,6		B	P
	B	P	B	P	B	P	B	P	B	P		
< 13/4	18,4	18,0	6,7	9,2	4,8	4,4	1,8	1,8	7,2	3,5	38,9	35,9
1 3/4—1	16,4	13,1	6,5	7,2	2,1	4,4	1,2	0,4	6,2	3,8	32,4	28,9
1—3/4	6,2	2,4	3,8	0,3	2,7	0,4	0,6	0,2	3,2	2,2	16,5	6,0
3/4—1/2	5,0	1,1	1,6	0,8	0,5	0,3	0,2	0,1	1,3	1,4	8,6	3,7
1/2—1/4	1,6	7,8	0,3	2,8	0,2	1,3	0,1	0,7	0,2	4,4	2,4	17,0
1/4—0	0,6	5,0	0,2	1,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	1,7	1,2	8,5
	48,2	47,4	19,1	22,1	10,4	11,1	4,0	3,4	18,3	15,9	100,0	100,0

Ocurre también una desintegración, de las fracciones más densas que 1,5. Los productos, contienen $3,4+15,9=19,3$ por $\%$ de material de peso específico superior a 1,5, mientras el carbón bruto poseía $4,0+18,3=22,3$ por $\%$.

También puede deducirse, el desmenuzamiento de las partículas de carbón «puro», mediante el hecho de que el carbón bruto contenía 48,2 por $\%$ de material menos pesado que 1,3, mientras el producto posee solamente 47,2 por $\%$.

Con un carbón quebradizo, las partículas más ligeras, soportan mejor la desintegración, que las pesadas, como ocurre en el ejemplo aquí tratado.

CURVAS DE LAVADO

Los resultados de un ensayo de flotación, pueden ser representados por varios métodos en forma gráfica, de un modo más conveniente y de más fácil interpretación, que en las tablas.

El análisis por flotación de un carbón de Yorkshire, es dado en la siguiente tabla IX. Los valores observados para los porcentajes

en peso y los porcentajes de cenizas, figuran en las columnas 2.^a y 3.^a y las dos últimas columnas, expresan los resultados sobre la base de acumular aquellos valores.

T A B L A I X

Peso específico	Peso %	Cenizas %	Peso % acumulados	Cenizas % acumuladas
< 1,35	47,3	5,4	47,3	5,4
1,35—1,40	12,5	9,3	59,8	6,2
1,40—1,50	5,4	13,9	65,2	6,9
1,50—1,60	2,7	21,8	67,9	7,4
> 1,60	32,1	69,3	100,0	27,3
	100,0	27,3		

La disposición de los datos obtenidos, es fácilmente explicable mediante este ejemplo. Cada determinación con un líquido de densidad dada, ha suministrado una fracción de carbón, de la cual se halla el peso y su contenido en cenizas, que se expresan en porcentajes referidos al total de carbón y sobre el peso de cada fracción respectivamente.

En la columna 4.^a, figuran los pesos acumulados en porcentajes. Como su nombre indica, un peso acumulado en porcentajes, es la suma de los pesos en % procedentes. La primera cifra 47,3, es la misma que la primera cifra en la 2.^a columna de los pesos en porcentajes. La cifra siguiente 59,8, es la suma de las dos primeras cifras en la segunda columna 47,3+12,5.

Y así sucesivamente. Cada uno de estos datos, para los pesos acumulados en porcentajes, indica el porcentaje total que debe flotar, si el carbón es separado con el líquido de densidad igual, al valor más alto de los dos valores indicados en la misma línea. Por ejemplo 65,2 por %, indica que éste es el porcentaje que debe flotar, sobre un líquido de densidad 1,50.

La columna 5.^a contiene los porcentajes de cenizas acumuladas correspondientes a los valores de los por $\%$ acumulados de la columna 4.^a, e indican el contenido medio en cenizas, de los carbones que flotan sobre un líquido de densidad igual, al más alto de los dos valores indicados en la misma línea. Sobre un líquido de densidad 1,50, flota 65,7 por $\%$ del carbón total conteniendo dicho flotado 6,9 por $\%$ de cenizas.

Estos valores son obtenidos, como sigue: cada uno de los porcentajes en peso de la columna 2.^a incluidos en los pesos por $\%$ acumulados dados, son multiplicados por sus correspondientes por $\%$ en cenizas y se suman los productos resultantes. Esta suma, dividida por el peso por $\%$ acumulado, dará el correspondiente por $\%$ de cenizas acumuladas. Así para el peso por $\%$ acumulado, 65,2 por $\%$, será:

$$\frac{(47,3 \times 5,4) + (12,5 \times 9,3) + (13,9 \times 5,4)}{65,2} = 6,9$$

El $\%$ de cenizas acumuladas correspondiente a 100 por $\%$ de peso acumulado, debe ser igual al por $\%$ de cenizas del carbón tratado y constituye una comprobación, de la bondad del trabajo analítico realizado.

El método general de construcción de las curvas de lavado, consiste en representar gráficamente los datos dados en las columnas 2.^a y 3.^a, sobre un sistema de ejes coordenados. La curva así obtenida, indica los pesos en relación a los contenidos en cenizas. En la figura 3, los puntos A, B, C, D, E corresponden a los datos de las columnas 2.^a y 3.^a.

Debe observarse que el punto A, está colocado para el valor 23,65 de la ordenada o peso, y 5,4 para la abscisa o porcentaje en cenizas. En la tabla IX, el peso que flota en un líquido de densidad 1,30 es 47,3 por $\%$, y el valor medio del contenido en cenizas de esta fracción, es de 5,4 por $\%$. La fracción comprende varias ca-

lidades de carbón, algunas más bajas en cenizas que 5,4 por $\%$ y otras más altas. Como 5,4 por $\%$ es el valor medio del contenido en cenizas, puede suponerse, que corresponde al contenido actual de cenizas del peso medio.

Por esto al construir la curva, los pesos correspondientes a un cierto contenido en cenizas, son dados como posiciones medias dentro de una zona determinada. Y $47,3/2=23,65$ se tomará para aquel fin.

La posición del punto B, es hallada sumando $(12,5)/2$ a 47,3. Este peso corresponde a un contenido en cenizas de 9,3 por $\%$. Los puntos C, D y E serán fijados de un modo análogo. Y la curva trazada por ellos, será extrapolada hasta cortar los ejes en P y Q. El punto P, corresponde entonces a aquellas partículas del carbón bruto, conteniendo el mínimo de cenizas y el punto Q a las partículas de pizarra, con el contenido en cenizas más alto.

La posición de Q es arbitraria, pero generalmente se sitúa entre 75 y 80. También es arbitraria la posición de P, ya que el punto A más próximo, está a cierta distancia de la abcisa correspondiente al peso cero. La posición de estos puntos, no tiene sin embargo valor especial, en la interpretación de las curvas.

Luego se construye la curva P, A₁, B₁, C₁, D₁, E₁, con los datos de las dos últimas columnas de la tabla IX, y es la curva de pesos por $\%$ acumulados. Esta difiere de la curva P, A, B, C, D, E, Q, en que no se introducen valores medios para los pesos de las diversas fracciones; las coordenadas del punto A₁, son p. ej. 5,4 y 47,3 mientras que para el punto A son 5,4 y $(1/2) \times (47,3)$.

La tercera curva, fig. 3, para el material que no flota P₁, A₂, B₂, C₂, D₂, Q, se corresponde con la curva P, P₁, B₁, C₁, D₁, E₁, pero en lugar de representar las fracciones que flotan a los diversos pesos específicos, está construída con las fracciones que se hunden, a los correspondientes valores de éstos. De modo semejante a aquella curva, está basada en los pesos acumulados, expresados en

porcentajes y relaciona los pesos y contenidos en cenizas, de las fracciones que no flotan.

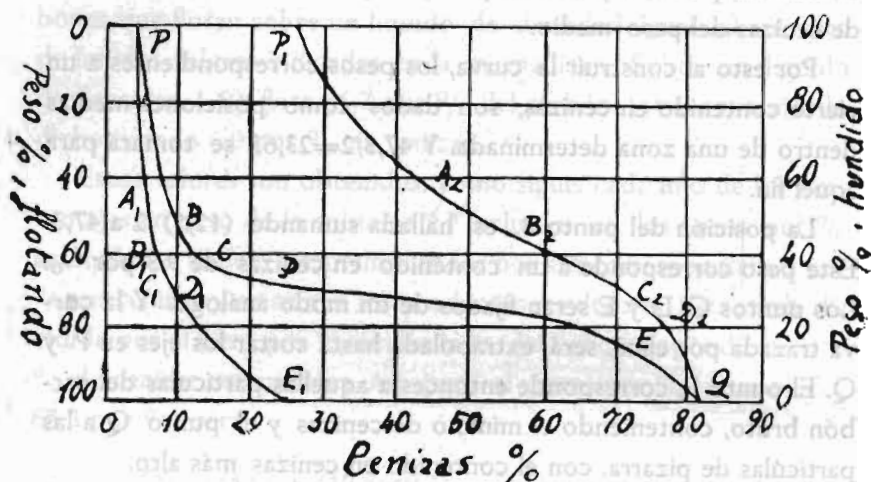


Fig. 3

Consideremos p. ej. el resultado de ensayar el carbón bruto, con un líquido de peso específico 1,35. A este valor, el 47,3 por % del carbón bruto flota y la fracción que flota contiene 5,4 por % de cenizas, como valor medio. La parte del carbón bruto, que no flota en este líquido de densidad 1,35, representa el 52,7 por % del total y contiene todas las fracciones que flotan luego, en los líquidos de densidades 1,4, 1,5 y 1,6 y se hunden en el líquido 1,6. Su contenido total en cenizas, será la suma de las cenizas con que contribuye cada fracción, dividida por el peso total (52,7).

$$\frac{(12,5 \times 9,3) + (5,4 \times 13,9) + (2,7 \times 21,8) + (32,1 \times 69,3)}{52,7} = 46,9$$

El punto A₂ queda fijado por el valor 52,7 para el peso y 46,9 para la ceniza.

De modo análogo el punto B₂, tendrá por coordenadas:

Peso: 40,2.

Cenizas:

$$\frac{(5,4 \times 13,9) + (2,7 \times 21,8) + (32,1 \times 69,3)}{40,2} = 58,6$$

Fijados de igual manera los puntos C₂, D₂, se traza la curva con dichos puntos y el punto Q de la curva valores observados. Esta curva, permite conocer el contenido teórico en cenizas del estéril, separado del carbón por el lavado. Así p. ej. si se desea obtener de este carbón, un producto con 10,0 por % de cenizas, deberá por lo menos rechazarse 25 por % del carbón bruto como estéril y la curva indica, que será imposible obtener un estéril, con más de 74 por % de cenizas. Para un producto con 5 por % de cenizas, el estéril será en proporción de 58 por % del carbón bruto y poseerá 45 por % de cenizas.

Estas tres curvas, constituyen los factores más valiosos, en el estudio del lavado de un carbón, ya que suministran de un modo claro el rendimiento y la naturaleza de los productos que pueden obtenerse.

Una línea horizontal trazada para un rendimiento en carbón lavado de 70 por %, indica sobre la curva «flotación», PA₁ E₁ que el contenido en cenizas del carbón lavado debe ser 9,2 por %; sobre la curva «no flotado» P₁ C₂Q se hallará, que las cenizas del estéril separado serán 71,0 por %.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLOTACION

El valor de unos datos analíticos, está tanto en su exactitud, como en su utilidad, para deducir conclusiones al interpretarlos. Diferentes métodos han sido propuestos en la literatura de este tema, para interpretar los datos de flotación. Uno de los más sencillos, consiste en deducir las dificultades de separación de las impurezas desde dos carbones, por comparación de las proporciones de las diferentes fracciones de pesos específicos, obtenidas flotando con líquidos densos. En forma gráfica, Th. Fraser y H. Yancey

Techn. Paper 361, Bureau of Mines 1925, han representado las proporciones de 4 muestras de carbón, que flotan en diversos líquidos densos, según la fig. 4.

El método más usual, es sin embargo, el empleo de las curvas de lavado.

Existen varios modos para deducir con estas curvas, las dificultades relativas en la separación entre carbón y estéril, con los métodos industriales basados en el peso específico. Se utiliza p. ej. la agudeza de curvatura de la gráfica, donde ésta tiende a aplanarse, para los rendimientos altos.

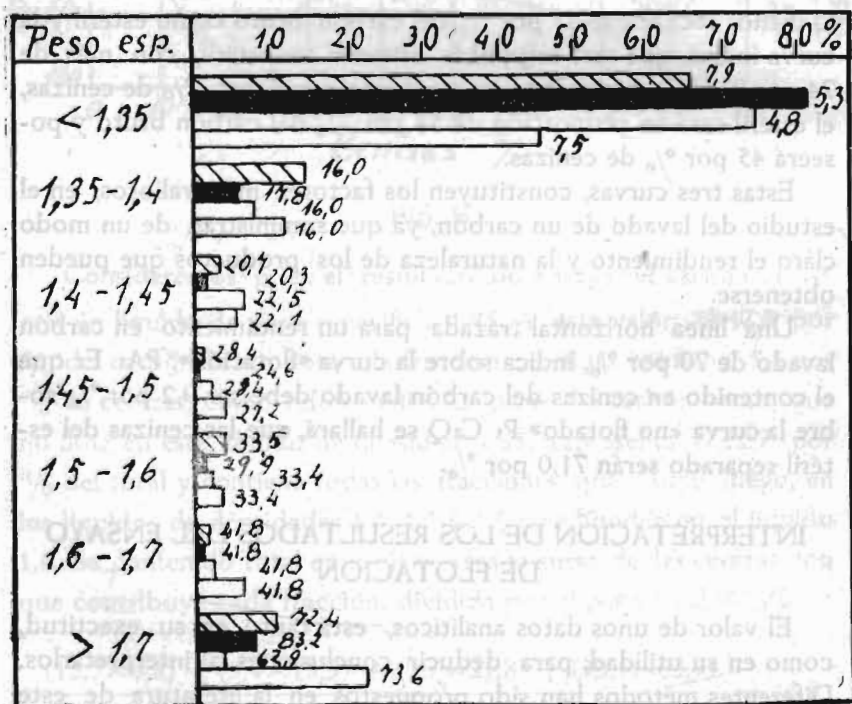


Fig. 4

Los números indican contenidos en cenizas de cada fracción y el porcentaje en peso de cada una, figura en la abscisa

Una curvatura cerrada, indica una elevación marcada en el contenido de cenizas de los materiales incluidos en este punto y por esto se produce una elevación rápida del peso específico.

B. M. Bird (Proc. Sec. Int. Conference on Bit. Coals, 1928, Pittsburgh) propuso un método de interpretación de los resultados del ensayo de flotación, que permite deducir las dificultades relativas en el lavado del carbón, para conseguir diversos contenidos en cenizas. El peso específico del carbón y de las impurezas, si excluimos temporalmente la consideración de la influencia de la forma y el tamaño de las partículas, constituyen una indicación de la dificultad de su mútua separación, ya que el proceso depende del peso específico. Y el peso específico del carbón, varía casi directamente con el porcentaje en cenizas. Pero los componentes de un carbón bruto, se distribuyen en un largo intervalo de pesos específicos, con diferencias pequeñas entre sus valores de esta propiedad física, desde el carbón «puro» y pobre en cenizas, hasta las pizarras.

Por esto, interesa conocer las proporciones de los diferentes pesos específicos, que deben ser separados entre sí. P. ej. un carbón bruto contiene $\frac{3}{4}$ de su peso, formado por partículas con pesos específicos entre 1,45 y 1,55. Sin duda alguna una separación tajante en el valor 1,50 de peso específico, debe ser más difícil de obtener con dicho carbón, que con otro, en el cual $\frac{3}{4}$ de su peso sean de peso específico menor que 1,30 o mayor que 1,70.

Por esto, un método de medida de la dificultad de una separación, según un peso específico dado, deberá tener en cuenta, la distribución de los pesos específicos de todos los componentes del carbón bruto, con respecto al punto de separación.

La dificultad de cualquier separación, depende primeramente, de la cantidad de material existente, que posee un peso específico cercano el valor del peso específico, para el cual, debe realizarse la separación entre el carbón lavado y el estéril. En otras palabras, si una separación tiene que hacerse a un peso específico 1,50, es la cantidad de material entre los pesos específicos 1,40 y 1,60, la que debe causar la dificultad de conseguir aquélla.

En general, una separación a un peso específico correspondiente a una lectura de 10 por $\%$ o menor, sobre la curva $\pm 0,10$ pesos específicos—pesos $\%$ acumulados, cuyo trazado será luego descripto, puede efectuarse fácilmente con alto rendimiento. Una separación a un peso específico correspondiente a 15 por $\%$ sobre la citada curva $\pm 0,10$ peso esp., es ya difícil de realizar y una separación a 20 por $\%$ sobre dicha curva, es francamente difícil de lograr, de no utilizar medios extraordinarios y muy eficaces.

CONSTRUCCION DE NUEVAS CURVAS

Según el Bull. 337, Universidad de Washington, un carbón con 24,9 por $\%$ de cenizas del area Pierce County, da el siguiente ensayo de flotación:

T A B L A X

Peso específico	Pesos $\%$	Cenizas $\%$	Acumulados	
			Pesos $\%$	Cenizas $\%$
< 1,35	33,7	5,4	33,7	5,4
1,35—1,45	25,7	14,0	59,4	9,1
1,45—1,55	11,5	24,1	70,9	11,6
1,55—1,70	9,2	37,1	80,1	14,5
> 1,70	19,9	67,3	100,0	25,0

En la fig. 5 están representados estos datos, en forma de diversas curvas, para su más fácil interpretación.

CURVA «ACUMULADO»

La curva acumulado, se obtiene representando los porcentajes pesos acumulados como ordenadas contra las cenizas en porcentajes acumulados (columnas 4.^a y 5.^a de la tabla X). Como las cenizas $\%$ acumulados, son valores medios de un gran número de determinaciones y estas determinaciones son relativamente más

exactas, que las pesadas, al hallar los % de los pesos acumulados, aquellos valores, han sido representados en la fig. 5 en una escala mayor que éstos últimos. Esta curva, indica el rendimiento máximo posible mediante lavado, sin efectuar reducción de tamaño en las piezas del carbón, para ayudar de este modo, a una separación

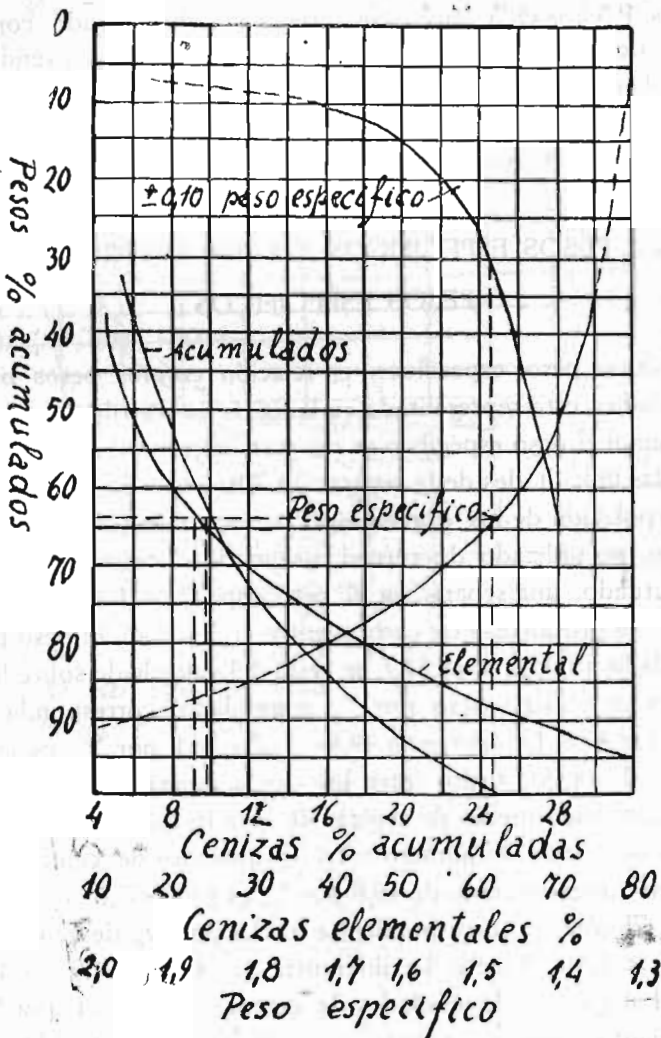


Fig. 5

eficaz de las impurezas. Por tanto, representa una separación con un rendimiento de 100 por $\%$ y sirve como valor tipo, para determinar la eficacia de un lavadero. Mediante este valor tipo, el rendimiento de un lavado es 100 veces el porcentaje de carbón lavado para cualquier contenido señalado de cenizas, dividido por el $\%$ indicado por la curva acumulado, para el mismo contenido en cenizas. P. ej. si el lavadero produce un carbón lavado con 10,0 por $\%$ de cenizas y un rendimiento de 60,0 por $\%$ y el rendimiento en el ensayo de flotación del mismo carbón Pierce County a 10,0 por $\%$ de cenizas, indicado en la fig. 5, es 63,7 por $\%$, la eficacia verdadera es $100 (60,0/63,7) = 94,2$ por $\%$.

CURVA PESOS ESPECIFICOS Y $\pm 0,10$ DISTRIBUCION DE PESOS ESPECIFICOS

La curva pesos específicos, en relación con los pesos por $\%$ acumulados, está representada en la fig. 5. La distribución del carbón, según el peso específico es de gran importancia, para determinar las dificultades de la separación. Otro uso de esta curva, es la interpolación de los porcentajes correspondientes a un peso específico, no utilizado durante el ensayo de flotación. P. ej. no se ha efectuado, una separación al peso específico 1,40. Y se desea conocer la proporción de carbón entre 1,35 y 1,40. El peso por $\%$ acumulado a 1,35 que es 33,7, se resta del valor leído sobre la curva peso específico—peso por $\%$ acumulado, correspondiente a 1,40 o sea 49,8. La diferencia $49,8 - 33,7 = 16,1$ por $\%$, es la proporción de carbón bruto entre los pesos específicos 1,35 y 1,40.

El contenido medio de cenizas de esta fracción, puede ser calculado fácilmente. El número total de unidades de ceniza, contenidas en un rendimiento de 49,8 por $\%$ es $49,8 \times 7,6 = 378,48$, figura 6. El número correspondiente a 33,7 por $\%$ de rendimiento es $33,7 \times 5,4 = 181,98$. La diferencia $378,48 - 181,98 = 196,50$ es igual al número de unidades de ceniza, en el 16,1 por $\%$ de rendimiento, entre 33,7 y 49,8 por $\%$; de aquí el contenido medio

en cenizas de la fracción, será $196,5/16,1 = 12,2$ o 12,2 por % de cenizas.

Este cálculo, enseña el valor de la curva pesos específicos, para simplificar el ensayo de flotación; las cuatro separaciones a los pesos específicos 1,35, 1,45, 1,55 y 1,70 bastan al investigador, para leer desde la curva los rendimientos posibles en cualquier punto entre 1,35 y 1,70 o para permitirle calcular fácilmente, la cantidad y el contenido en cenizas, de cualquier fracción con un peso específico intermedio.

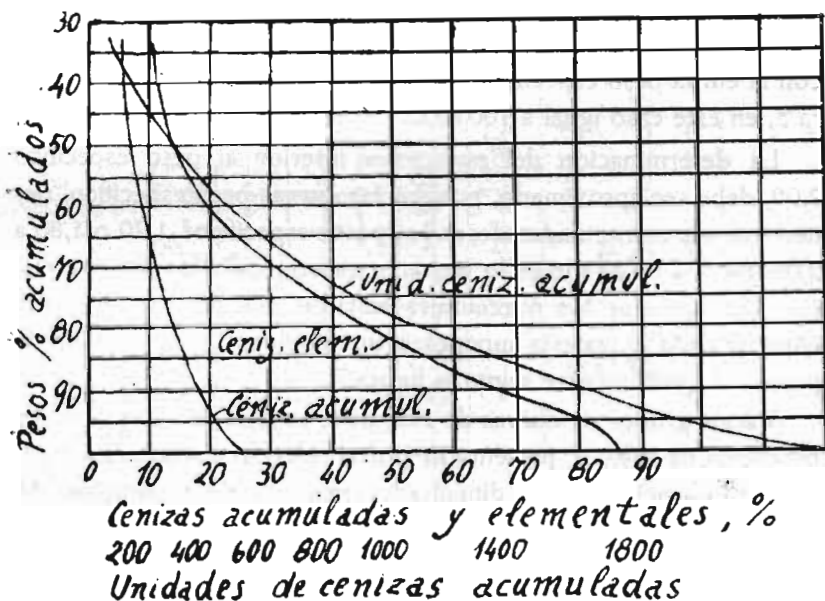


Fig. 6

Mediante el empleo de esta curva, peso específico—pesos por % acumulados, pueden construirse otras curvas de tan gran utilidad, como las llamadas $\pm 0,10$ peso específico distribución, para la interpretación de los datos obtenidos en un ensayo de flotación.

Supongamos que deseamos efectuar una separación, al peso específico 1,50 de un carbón. El porcentaje entre los pesos específi-

cos 1,45 y 1,55, esto es 0,05 unidades de peso específico en más y en menos de 1,50, puede leerse en la curva peso específico—pesos por % acumulados de la fig. 5. A 1,45 corresponde 59,4 por % y a 1,55 el valor 70,9 por %. La diferencia es $70,90 - 59,4 = 11,5$ por %. Para otra banda de peso específico superior e inferior a 1,50, tal como p. ej. entre 1,40 y 1,60 se lee sobre aquella misma curva: 74,6 por % menos 49,9 por % o sea 24,7 por %.

Un cálculo análogo, se efectúa para otras bandas de peso específico superior e inferior a 1,50 y los resultados (11,5 por %, 24,7 por %...) son multiplicados por 100 y divididos por el porcentaje de carbón bruto inferior en peso específico a 2,00, hallado con la curva peso específico—pesos por % acumulados de la figura 5, en este caso igual a 100/90,8.

La determinación del porcentaje inferior al peso específico 2,00, debe ser aproximado, porque las curvas peso específico, tienen que ser extrapoladas desde los pesos específicos 1,70 o 1,80 a 2,00; pero el resultado es lo bastante exacto, para los fines prácticos. Después que los porcentajes hallados, son recalculados para eliminar todo el materia superior a un peso específico 2,00, se representan gráficamente según la figura 7.

Varios grupos de curvas de este tipo, aclaran la naturaleza del problema de lavado, presentado por el referido carbón. La fig. 7 da una indicación de las dificultades relativas de separación del carbón, para diversos valores medios de pesos específicos. La curva, para una separación a 1,45 se eleva rápidamente, mostrando que 40,8 por % del carbón, se halla dentro de una zona de peso específico, alejada 0,10 unidades de peso específico por encima y por debajo de aquel valor 1,45 de peso específico; por esto, una separación a 1,45, presentará grandes dificultades.

La curva para el valor de peso específico 1,70, se eleva relativamente poco e indica solamente 11,1 por % dentro del rango $\pm 0,10$ de aquel valor 1,70 de peso específico. Entonces una separación a este peso específico, entre el carbón y la ganga, será relativamente mucho más sencillo, que en el caso anterior. Entre estos

dos extremos a 1,45 y 1,70, las curvas se elevan con diversos grados de inclinación y las dificultades del problema de lavado del carbón, crecerán rápidamente cuanto más pequeño sea el peso específico elegido. Como el porcentaje en cenizas y el peso específico, son una función directa entre sí, la dificultad crece cuanto más inferior sea el porcentaje en cenizas que se desea obtener, en el carbón lavado. Esto queda señalado por los porcentajes de cenizas, dados sobre las curvas de la fig. 7. Estos valores de porcentajes en cenizas, son fácilmente hallados en la fig. 5, partiendo de la densidad correspondiente a cada una de las curvas de la fig. 7, su-

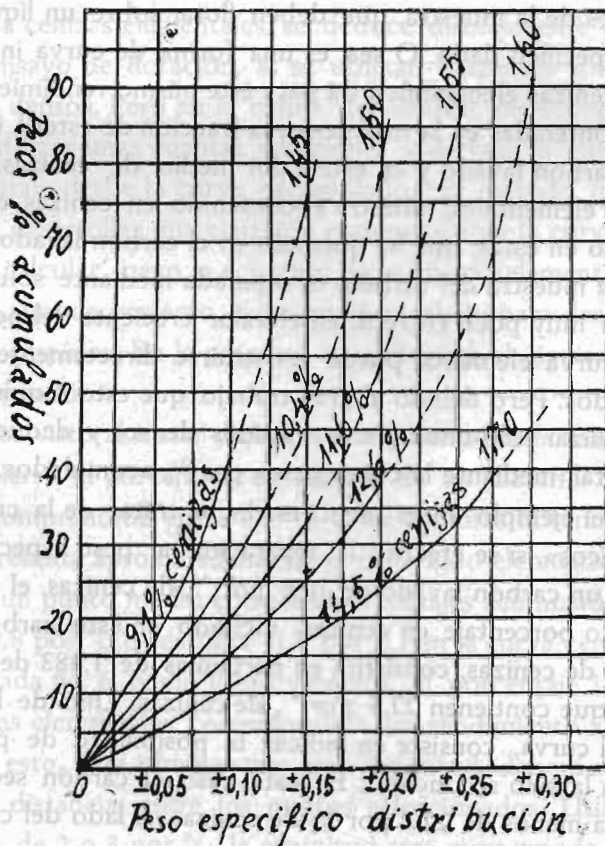


Fig. 7

biendo hasta encontrar la curva pesos específicos—pesos por $\%$ acumulados, siguiendo entonces horizontalmente, hasta cortar la curva cenizas por $\%$ acumuladas y bajando, para leer en el eje de las cenizas por $\%$ acumuladas el valor correspondiente.

LA CURVA CENIZAS ELEMENTALES

Para comprender esta curva, recordemos que la curva pesos por $\%$ acumulados—cenizas por $\%$ acumulados, anteriormente estudiada, indica los contenidos medios de cenizas de todos los componentes de la muestra, que deben flotar sobre un líquido de un peso específico dado. O sea, es una forma de curva integrada. La curva cenizas elementales, dá para este mismo rendimiento, las cenizas contenidas en la más pequeña fracción de estéril, incluida entre el carbón lavado y en este valor medio de cenizas. La curva cenizas elementales, muestra el contenido en cenizas del material más rico en éstas, que ha quedado en el carbón lavado.

Si la muestra del carbón, es separada mediante soluciones que difieren muy poco entre sí, en el valor creciente del peso específico, la curva elemental puede construirse directamente con estos resultados. Pero debido al gran trabajo que esto requiere, es más fácil utilizar solo unos pocos líquidos densos y deducir la curva elemental, mediante la curva pesos por $\%$ acumulados.

En el ejemplo antes mencionado, al tratar de la curva «pesos específicos», si se efectúa la separación al peso específico 1,483, dando un carbón lavado de 10,0 por $\%$ de cenizas, el material del más alto porcentaje en cenizas, incluido en este carbón de 10,0 por $\%$ de cenizas, consistirá en partículas de 1,483 de peso específico, que contienen 22,5 por $\%$ de cenizas. Uno de los empleos de esta curva, consiste en indicar la posibilidad de producir un carbón lavado secundario. En este caso, el carbón secundario no poseerá menos de 22,5 por $\%$ de cenizas, al lado del carbón lavado con 10,0 por $\%$.

Este tipo de curva, es utilizada frecuentemente, para la deter-

minación de las dificultades de un problema de lavado. Si una línea horizontal, trazada desde el valor del rendimiento correspondiente al porcentaje de cenizas deseado en el carbón lavado, cruza la curva «elemental» a la derecha del punto donde esta curva, comienza a aplanarse, hacia la base de la fig. 5, el problema del lavado será relativamente fácil. Un carbón lavado a 14 o 16 por $\%$ de cenizas, será con el carbón aquí estudiado Tabla X, fácil de obtener. Si la línea horizontal, cruza la curva, cerca de aquel punto, donde se aplanan la curva, la separación será considerada como difícil.

La curva cenizas elementales, se deduce directamente con los datos del ensayo de flotación, si se utilizan bastantes soluciones de líquidos densos. Pero en la rutina del análisis densimétrico, es suficiente utilizar unas cuantas soluciones y derivar la curva «ceniza elemental» desde la curva «acumulado». El método más elegante, sería desarrollar una ecuación matemática de la curva «acumulado» y calcular luego la ecuación de la curva «elemental». Este método, aunque perfecto, exige mucho trabajo para desarrollar la ecuación empírica. En la práctica, es suficiente el siguiente método aproximado.

Ya hemos visto al tratar de la curva «pesos específicos», como podía calcularse, el porcentaje en cenizas de un material de peso específico comprendido entre 1,35 y 1,40. La cifra obtenida 12,2 por $\%$, representa aproximadamente el contenido elemental en cenizas, para un punto medio entre los porcentajes acumulados 33,7 por $\%$ y 49,8 por $\%$ o sea para 41,7 por $\%$; en la curva ceniza elemental trazada fig. 6, como luego veremos, el porcentaje 12,2 por $\%$ de cenizas elementales corresponderá un rendimiento de 41,0 por $\%$. Por esto, para obtener una gran exactitud, deberá ser muy pequeña la distancia, entre los puntos seleccionados. Utilizando incrementos de 2 o 3 por $\%$, la exactitud será muy grande.

Se alcanza una gran precisión, trazando la curva de unidades,

acumuladas de cenizas, contra los pesos acumulados en porcentajes dados en la tabla. El método consiste en efectuar los siguientes cálculos, para obtener los valores de la curva «elemental».

Pesos %		Cenizas %		Unidades de ceniza	Unidades de ceniza acumuladas	Pesos % acumulados
33,7	×	5,4	=	182,0	182,0	33,7
25,7	×	14,0	=	359,8	541,8	59,4
11,5	×	24,1	=	277,2	819,0	71,9
9,2	×	37,1	=	341,3	1160,3	80,1
19,9	×	67,3	=	1339,3	2499,6	100,0

La curva elemental, puede trazarse ahora, a una escala, representando p. ej. en 1 cm. de distancia 2 por 100 de rendimiento y 50 unidades acumuladas de cenizas fig. 6.

La diferencia entre dos puntos sobre la curva de unidades de ceniza acumuladas, dividida por el número de porcentaje representado, dará el contenido medio de cenizas del material; éste se tomará como el porcentaje elemental de cenizas, para un rendimiento medio entre dos valores elegidos. P. ej. la diferencia entre 90 y 88 por % es $1708 - 1508 = 128$, fig. 6. Esta diferencia dividida por 2, dará el contenido medio en cenizas de 64,0, que es el porcentaje elemental de cenizas para el rendimiento de 89,0 por %.

De igual modo, son determinados otros puntos de la curva. Cuando la curva cambia rápidamente de dirección, los puntos deberán ser determinados a intervalos de 2 a 4 por %, mientras que en las zonas casi rectilíneas, bastará hallarlos en intervalos de 4 a 8 por %.

ENSAYOS DE TAMIZADO Y EL ANALISIS DENSIMETRICO

Los datos y curvas anteriores, se refieren al todo uno, del carbón mencionado de Pierce County, Washington. Pero los datos de un ensayo de flotación, deben relacionarse, para obtener una información completa sobre un carbón, con el ensayo de separación granulométrica, efectuado mediante una serie de tamices.

Los datos de este doble fraccionamiento del carbón de Pierce County, son:

TABLA XI

Tamaños y porcentajes	Peso esp.	Peso %	Ceniza %	Acumulados	
				Peso %	Ceniza %
40 a 10 mm	< 1,35	28,9	6,6	28,9	6,6
Peso: 44,1 %	1,35—1,45	29,1	15,1	58,0	10,9
del total	1,45—1,55	12,7	26,5	70,7	13,5
Cenizas 26,9 %	1,55—1,70	8,9	39,6	79,6	16,4
	> 1,70	20,4	69,7	100,0	27,3
Pasa 10 mm	< 1,35	38,8	5,0	38,8	5,0
hasta tamiz	1,35—1,45	24,0	13,3	62,8	8,0
de 20 mallas	1,45—1,55	10,4	23,6	73,2	10,4
Peso: 37,3 %	1,55—1,70	9,2	36,1	82,4	13,2
del total	> 1,70	17,6	66,7	100,0	22,6
Cenizas: 22,8 %					
Pasa tamiz	< 1,35	34,7	4,1	34,7	4,1
de 20 mallas	1,35—1,45	21,0	11,8	55,7	7,0
Peso: 18,6 %	1,45—1,55	10,8	21,1	66,5	9,3
del total	1,55—1,70	10,3	33,6	76,8	12,6
Cenizas: 24,4 %	> 1,70	23,2	63,2	100,0	24,3

En general, la aplicación más importante de los datos del análisis granulométrico por tamizado, es la fijación más o menos definitiva, del número relativo de aparatos lavadores que deberán instalarse en la planta de lavado, para la preparación de los diversos tamaños. Aunque esta conclusión no sea de inmediato interés, permite alcanzar otras deducciones que justifican su estudio.

Los resultados de los ensayos de tamizado, indican en general, que el carbón es respecto a esta propiedad, extremadamente desmenuzable. La tabla XI señala que solamente 44,1 por % queda sobre el tamiz con anchura de mallas de 10 mm.

Para otras cinco importantes capas del mismo yacimiento, los porcentajes para el mismo tamizado; son de 48,6 por %, 41,7 por %, 41,8 por %, 43,6 por % y 41,7 por %.

Por otro lado, el porcentaje de carbón (18,6 por %) que pasa el tamiz de 20 mallas es muy alto. Para aquellas 5 capas americanas, este valor oscila entre 17,5 a 19,6 por %; de la muestra total. Y la conclusión que se deduce, es la de que una gran parte de finos, se producirán durante la explotación y el tratamiento de dichos carbonos.

Ante todo, la presencia de 18,6 por % de carbón más fino que 20 mallas, indica claramente, que todos estos tamaños inferiores, deberán ser lavados. Para fines prácticos, el tamiz de 100 mallas, señala el límite inferior que puede lavarse eficazmente, mediante procesos dependientes del peso específico para efectuar la separación (M. Bird y S. M. Marshall, Bull. 337 Bureau of Mines 1931). Deberán utilizarse por tanto, otros procesos de lavado, tal como la flotación por espuma.

Los datos para el análisis densimétrico para los tamaños individuales (40—10 mm., 10 mm. hasta el tamiz de 20 mallas y menor del tamiz de 20 mallas.) Tabla XI están representados, en forma de las curvas, que ya conocemos, en las figs. 8, 9 y 10, que muestran la misma tendencia, que el carbón todo uno, del mismo yacimiento, fig. 5, o sea pequeñas proporciones de carbón bajo de cenizas y relativamente grandes proporciones de fracciones medias y pesadas.

Para el tamaño 40—10 mm. la proporción de $< 1,35$ es mínima. Los finos tienen 42,5 por % de un carbón con 5,0 por % de cenizas contra 38,8 por % los otros tamaños.

Las curvas de la fig. 11, indican las dificultades relativas del lavado, de los diversos tamaños, al peso específico 1,50. Se utilizan para su construcción las figuras 8, 9 y 10. Aquéllas, muestran que el tamaño 40—10 mm. es más difícil de lavar a 1,50 de peso específico, que los tamaños inferiores.

RENDIMIENTO DE UN LAVADERO DE CARBÓN

H. F. Yancey, M. Geer y R. Shinkosky, han publicado el Rept. of Investigation 3372 del Bureau of Mines 1938, estudiando la eficacia en la separación de las impurezas de un carbón, mediante un lavadero de pistón, por determinación del peso específico más adecuado, al cual dicha separación, debe efectuarse y la influencia de la composición del carbón, desde el punto de vista de su distribución densimétrica sobre aquella separación.

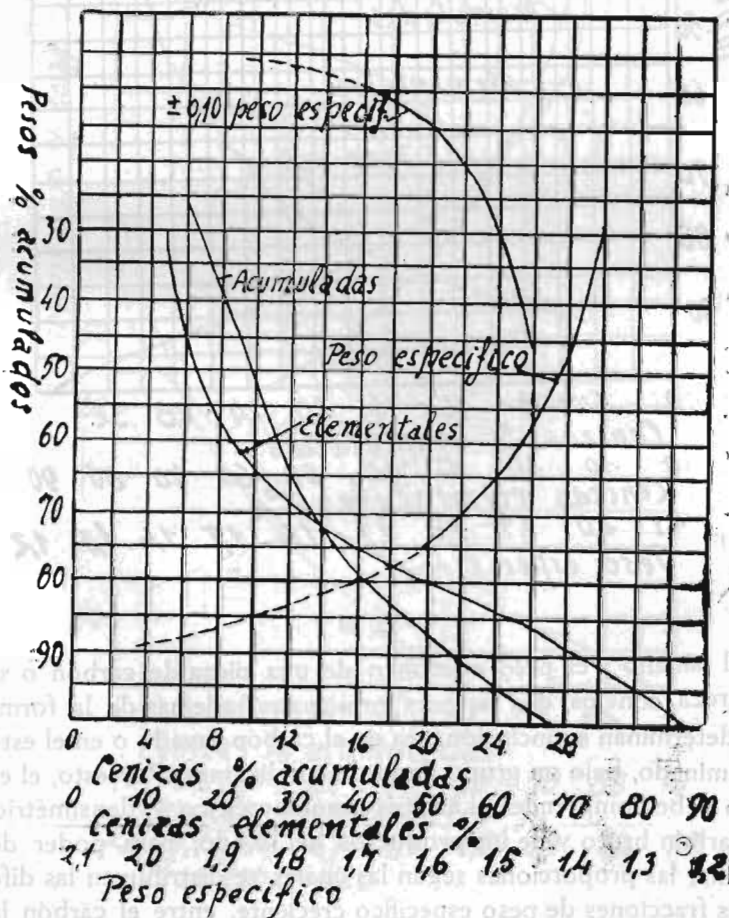


Fig. 8



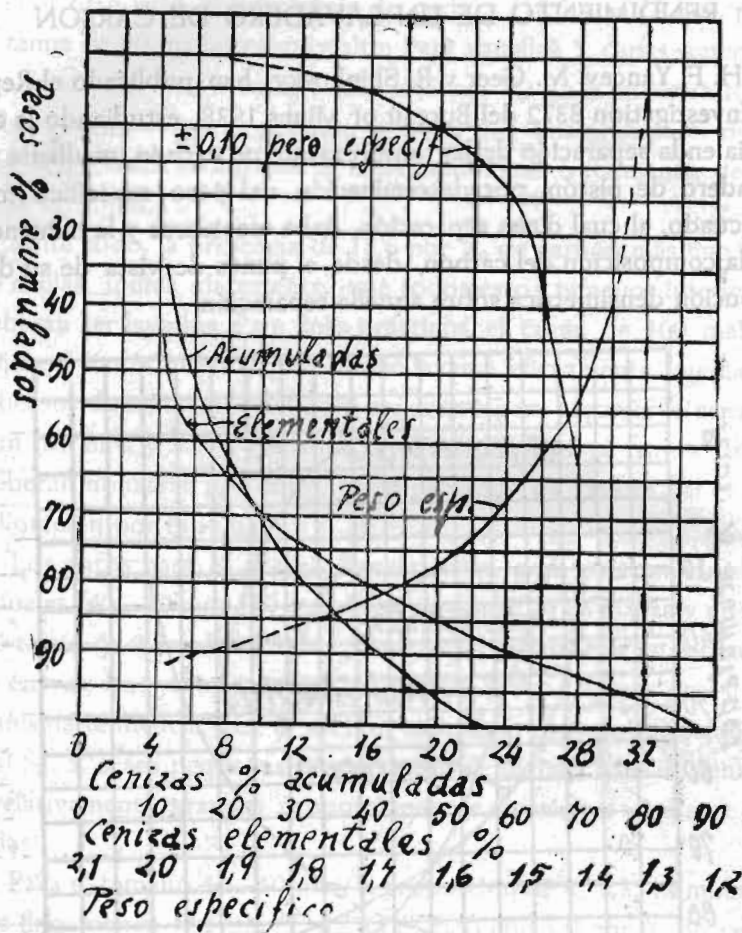


Fig. 9

El tamaño y el peso específico de una pieza de carbón o de impureza, son los dos factores principales, además de la forma, que determinan su inclusión, sea en el carbón lavado o en el estéril eliminado, bajo un grupo dado de condiciones. Por esto, el estudio debe comprender el análisis granulométrico y densimétrico del carbón bruto y de los productos del lavado, para poder determinar las proporciones según las cuales, se distribuyen las diferentes fracciones de peso específico creciente, entre el carbón lavado y el estéril.

El estudio fué realizado con un carbón de la cuenca del centro-oeste de Washington y utilizando dos fracciones de 3-2 pulgadas (76-50 mm.) y 2-1 1/4 pulgadas (50-31,6 mm.) Para la fracción 76-50, el número de pulsaciones de agua en el lavadero de pistón por minuto, era de 40 y la pulsación de 4 1/4 pulgadas. Para la fracción 50-31,6 el número de pulsaciones fué de 40 y la pulsación de 2 pulgadas.

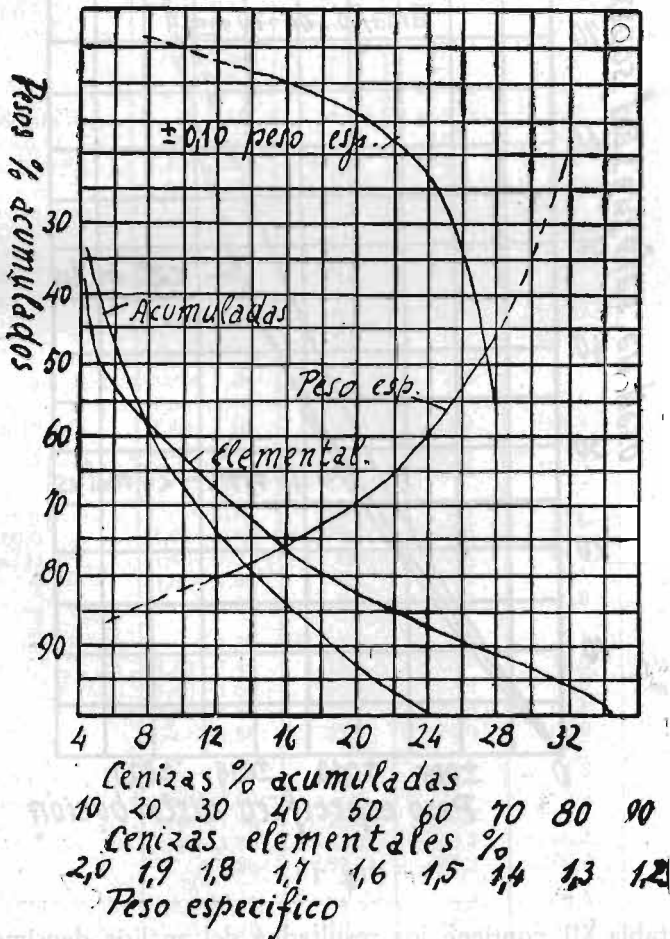


Fig. 10



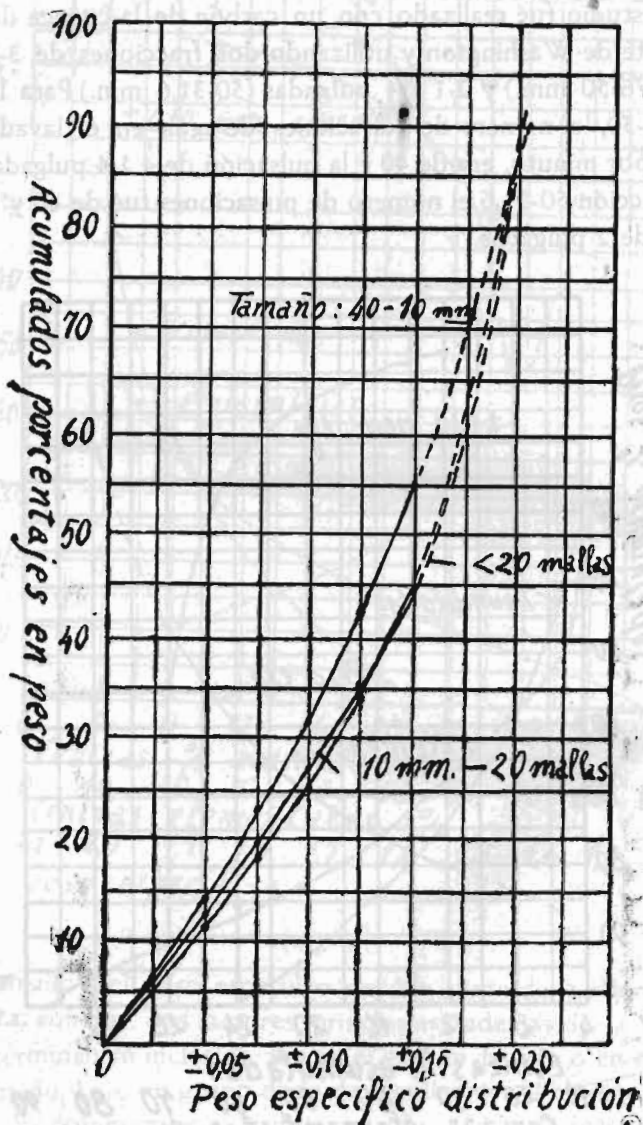


Fig. 11

La tabla XII, contiene los resultados del análisis densimétrico del carbón bruto, del lavado y del estéril.

TABLA XII

Producto	Peso específico	Peso %	Cenizas %	Acumulado	
				Peso %	Cenizas %
CARBON BRUTO:					
76—50 mm	< 1,30	39,5	7,9	39,5	7,9
Peso: 26,0 %	1,30—1,40	30,9	14,8	70,4	10,9
Cenizas: 22,8 %	1,40—1,60	13,6	28,2	84,0	13,7
	1,60—1,80	2,7	47,1	86,7	14,8
	> 1,80	13,3	74,9	100,0	22,8
50—31,6	< 1,30	48,6	7,7	86,6	7,7
Peso: 74,0 %	1,30—1,40	27,5	15,0	77,1	10,3
Cenizas: 20,2 %	1,40—1,60	10,9	28,1	87,0	12,6
	1,60—1,80	2,6	47,8	89,6	13,6
	> 1,80	10,4	77,2	100,0	20,2
76—31,6 mm	< 1,30	46,2	7,7	46,2	7,7
Peso: 100,0 %	1,30—1,40	28,4	14,9	74,6	10,4
Cenizas: 20,9 %	1,40—1,60	11,6	28,1	86,2	12,8
	1,60—1,80	2,6	47,6	88,8	13,8
	> 1,80	11,2	76,5	100,0	20,9
CARBON LAVADO:					
76—50 mm	< 1,30	55,5	7,8	55,5	7,8
Peso: 24,3 %	1,30—1,40	40,1	14,2	95,6	10,5
Cenizas: 11,1 %	1,40—1,60	4,3	24,1	99,9	11,1
	1,60—1,80	0,1	46,7	100,0	11,1
	> 1,80	0,0	0,0	100,0	11,1
50—31,6 mm	< 1,30	56,1	7,6	56,1	7,6
Peso: 75,7 %	1,30—1,40	34,0	14,8	90,1	10,3
Cenizas: 12,2 %	1,40—1,60	8,7	25,9	98,8	11,7
	1,60—1,80	0,5	44,3	99,3	11,9
	> 1,80	0,7	63,2	100,0	12,2
76—31,6 mm	< 1,30	56,0	7,6	56,0	7,6
Peso: 100,0 %	1,30—1,40	35,5	14,6	91,5	10,3
Cenizas: 11,9 %	1,40—1,60	7,6	25,7	99,1	11,3
	1,60—1,80	0,4	44,4	99,5	11,6
	> 1,80	0,5	63,2	100,0	11,9
ESTERIL:					
76—50 mm	< 1,30	1,1	7,6	1,1	7,6
Peso: 35,6 %	1,30—1,40	15,5	18,1	16,6	17,4
Cenizas: 45,1 %	1,40—1,60	36,4	27,9	53,0	24,6
	1,60—1,80	11,1	49,3	64,1	28,9
	> 1,80	35,9	74,0	100,0	45,1
50—31,6 mm	< 1,30	1,8	6,5	1,8	6,5
Peso: 64,4 %	1,30—1,40	7,4	17,1	9,2	15,0
Cenizas: 57,0 %	1,40—1,60	24,3	30,7	33,5	26,4
	1,60—1,80	13,2	49,2	46,7	32,8
	< 1,80	53,3	78,2	100,0	57,0
76—31,6 mm	< 1,30	1,5	6,8	1,5	6,8
Peso: 100,0 %	1,30—1,40	10,3	17,6	11,8	16,2
Cenizas: 52,8 %	1,40—1,60	28,6	29,4	40,4	25,6
	1,60—1,80	12,5	49,2	52,9	31,1
	> 1,80	47,1	77,1	100,0	52,8

Esta tabla, muestra las características, en cuanto a distribución por pesos específicos del carbón bruto, la cantidad y naturaleza de las impurezas, que quedan en el carbón lavado y la cantidad y calidad del carbón que pasa unido al estéril.

Los porcentajes de cenizas en el análisis densimétrico de cada muestra, han sido corregidos, para igualar el contenido de cenizas por % acumulado a el porcentaje de cenizas de dicha muestra, que figura en la columna primera. Las diferencias medias entre dichos valores, eran de 0,5 por % y la máxima de 1,0 por %.

La eficacia de la separación entre el carbón y las impurezas, viene medida por la relación, entre el rendimiento de carbón lavado obtenido en el lavadero y el rendimiento de carbón flotando, con un porcentaje de cenizas igual, deducido por el análisis densimétrico con la curva pesos por % acumulados—cenizas por % acumulados.

La tabla XIII contiene estos resultados:

T A B L A X I I I

	T A M A Ñ O M M .		
	76—50	50—31,6	76 - 31,6
Ceniza en el carbón bruto %/o... .. .	22,8	20,2	20,9
Ceniza en el carbón lavado %/o.	11,1	12,2	11,9
Ceniza en el estéril %/o.....	45,1	57,0	52,8
Rendimiento de carbón lavado %/o..... .	65,6	82,1	78,0
Rendimiento de carbón flotado %/o..... .	71,6	85,6	83,0
Eficacia.....	91,6	95,9	94,0

y señala que el lavadero de pistones, es menos eficaz con el tamaño mayor (91,6) que con las piezas más finas del carbón (95,9). Estas cifras, dan el valor del carbón perdido en el estéril. El contenido en cenizas del estéril, es menor (45,1) en el tamaño mayor, que en el carbón más fino (57,0), señalando también aquella pérdida. El rendimiento de carbón flotado que figura en la tabla XIII está deducido por el análisis densimétrico.

El análisis densimétrico del carbón bruto y de los productos, permite determinar, la distribución de cada una de las diferentes fracciones de peso específico, entre el carbón lavado y el estéril. La tabla XIV contiene estos resultados. Cada fracción, se considera en el carbón bruto como 100 por $\%$. De estos resultados, se deduce que el material inferior en peso específico a 1,30, pasa casi enteramente al carbón lavado. La fracción 1,30 a 1,40 del tamaño 50—31,6, pasa también casi por entero al carbón lavado, pero en el tamaño 75—50, un 16,8 por $\%$, pasa al estéril.

TABLA XIV

Peso específico	TAMAÑOS MM.					
	76 50		50—31,6		76—31,6	
	Carbón lavado	Estéril	Carbón lavado	Estéril	Carbón lavado	Estéril
< 1,30	98,0	1,1	99,4	0,6	99,3	0,7
1,30—1,40	83,2	16,8	95,5	4,5	92,3	7,7
1,40—1,60	18,3	81,8	62,3	37,7	48,4	51,6
1,60—1,80	2,6	97,0	14,3	85,7	10,0	90,0
> 1,80	0,0	100,0	5,9	94,1	3,7	96,3

De la fracción 1,40—1,60, solo 18,3 por $\%$ del tamaño grande contra 62,3 por $\%$ del tamaño inferior, pasan al carbón lavado y para las otras fracciones, la tendencia se continúa en este sentido.

Las proporciones de carbón bruto, para cada fracción de peso específico, no figuran en la tabla XIV y los autores presentan la tabla XV en la que expresan cada fracción componente, como un porcentaje del carbón bruto total. Así, aunque la tabla XIV indica que 10 por $\%$ de la fracción 1,60—1,80 (tamaño 76—31,6) referida al carbón lavado, la tabla XV señala que esta fracción, representa solamente 2,6 por $\%$ del carbón bruto.

TABLA XV

Distribución hecha por el lavadero de pistón del carbón bruto, entre carbón lavado y estéril, expresado en porcentajes del carbón bruto.

Peso específico	TAMAÑOS MM.		
	76—50	50—31,6	76—31,6
<u>CARBÓN BRUTO:</u>			
< 1,30	10,3	35,9	46,2
1,30—1,40	8,0	20,4	28,4
1,40—1,60	3,5	8,1	11,6
1,60—1,80	0,7	1,9	2,6
> 1,80	3,5	7,7	11,2
	26,0	74,0	100,0
<u>CARBÓN LAVADO:</u>			
< 1,30	10,6	33,1	43,7
1,30—1,40	7,6	20,1	27,7
1,40—1,60	0,8	5,1	5,9
1,60—1,80	0,0	0,3	0,3
> 1,80	0,0	0,4	0,4
	19,0	59,0	78,0
<u>ESTÉRIL:</u>			
< 1,30	0,1	0,2	0,3
1,30—1,40	1,2	1,1	2,3
1,40—1,60	2,8	3,5	6,3
1,60—1,80	0,9	1,8	2,7
> 1,80	2,8	7,6	10,4
	7,8	14,2	22,0
<u>CARBÓN BRUTO CALCULADO (1)</u>			
< 1,30	10,7	33,3	44,0
1,30—1,40	8,8	21,2	30,0
1,40—1,60	3,6	8,6	12,2
1,60—1,80	0,9	2,1	3,0
> 1,80	2,8	8,0	10,8
	26,8	73,2	100,0

(1) Estos valores han sido calculados, con las sumas de los correspondientes del carbón lavado y del estéril, en esta tabla. Difieren de los valores obtenidos con el carbón bruto original, debido a la desintegración sufrida por el carbón, durante el proceso de lavado y de flotación.

Hemos visto en la tabla XIV, que la casi totalidad de la fracción 1,30—1,40 pasa al carbón lavado y que la fracción 1,60—1,80, se reporta principalmente en el estéril. La fracción entre estas dos (1,40—1,60) se distribuye casi igualmente, entre los dos productos del lavado. Y el peso específico exacto del material, para el cual tiene lugar una distribución por igual, entre ambas productos del lavado, puede determinarse por interpelación, mediante los datos de la tabla XIV. Antes, es necesario determinar el peso específico medio de cada fracción obtenida en el análisis densimétrico del carbón bruto.

En la fig. 12 se representan los pesos por % acumulados, en función de los pesos específicos. Para determinar aquellos pesos específicos medios, se sigue el método, que a continuación se aclara con un ejemplo. El peso por % acumulado flotando sobre un baño, que divide la fracción 1,30—1,40 en una mitad, que flota y otra que se hunde, es el valor medio de los pesos por % acumulados que flotan entre 1,30 y 1,40 o sea de 46,2 y 74,6 por % respectivamente. La media de estos valores es 60,4 y sobre la curva, se puede ver fig. 12, que corresponde a un peso específico de 1,33, el cual será por estd, el valor medio de la fracción de peso específico 1,30—1,40.

La determinación del peso específico medio de la fracción $< 1,30$ y $> 1,80$, se calculan suponiendo que ninguna de las impurezas sobre 1,80, tienen un peso específico $> 2,6$ y que nada del carbón por bajo de 1,30 tiene un peso específico inferior a 1,23. Cualquier error debido a esta hipótesis, no afecta al resultado final de la interpelación.

En la fig. 12 están señalados los valores medios de pesos específicos de cada fracción que son:

TABLA XVI

Peso específico	Tamaño 75—31,6 mm.		
	Densidad media	Carbón lavado	Estéril
< 1,30	1,29	99,3	0,7
1,30—1,40	1,33	92,3	7,7
1,40—1,60	1,46	48,4	51,6
1,60—1,80	1,69	10,0	90,0
> 1,80	2,34	3,7	96,3

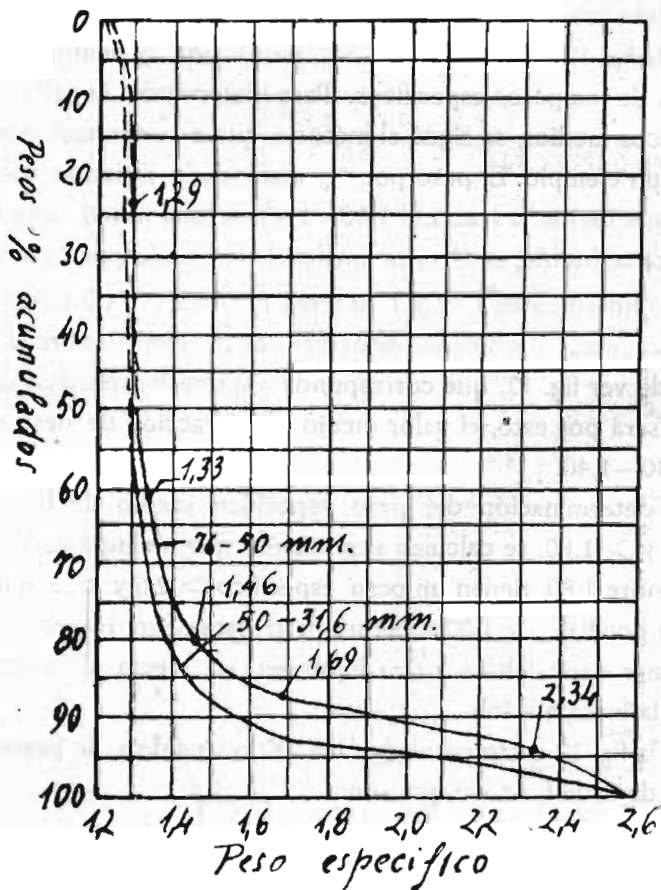


Fig. 12

En esta tabla, se reproducen las dos últimas columnas de la tabla XIV referentes al tamaño 75—31,6 mm.

En la fig. 13 se han representado los datos de la densidad media contra los porcentajes de carbón lavado de estéril, resultando la curva de distribución de porcentajes.

La línea de ordenada 50 por % (peso referido a carbón lavado o a carbón estéril) corta aquella curva, en un punto de abscisa 1,45. O sea que la mitad del material de peso específico, exactamente

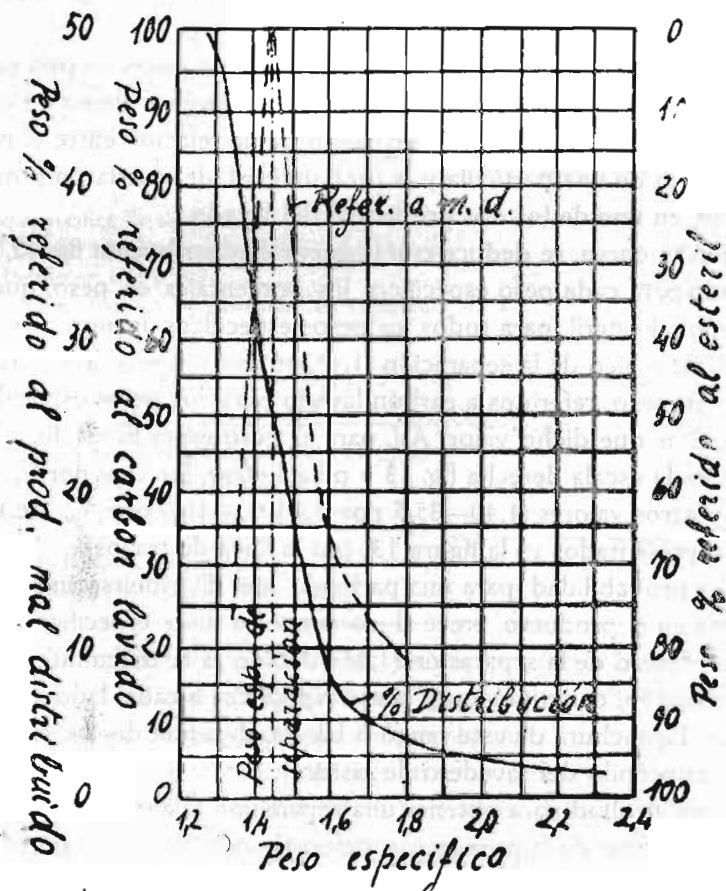


Fig. 13

igual a 1,45, se une al carbón lavado y la otra mitad al estéril, durante el tratamiento con el lavadero de pistón. Por esto 1,45 es el peso específico de la separación lograda en el lavadero de pistón para aquel calibre, y en las condiciones de pulsación indicadas.

La fig. 13 y las tablas XIV y XV, indican claramente, que una cantidad considerable de material mucho más ligero que 1,45 pasa al estéril y que una parte del material más pesado que éste peso específico, queda en el carbón lavado. No hace falta indicar, lo que esto significa, en cuanto a la distribución de las cenizas, entre el carbón lavado y el estéril.

La línea de trazos en la fig. 13, muestra los pesos en porcentajes referidos al producto, que de modo impropio, figura en cada fracción de peso específico, señalando así, la relación entre el peso específico de una partícula y la probabilidad de quedar impropriamente, en uno de los dos productos del lavado.

Dicha curva, se deduce con la curva de distribución fig. 12, tomando para cada peso específico, los porcentajes en peso, que se refieren al estéril, para todos los pesos específicos menores que el peso específico de la separación (1,45 en este caso) y los porcentajes en peso, referidos a carbón lavado para los pesos específicos más altos que dicho valor. Así, para el peso específico 1,40, se lee 35,5 en la escala derecha fig. 13 y para 1,60 se lee 16,0 por $\%$. Estos y otros valores (1,40—35,5 por $\%$; 1,60—16,0 por $\%$, etc.) están representados en la figura 13, por la línea de trazos.

La probabilidad para una partícula, de distribuirse impropriamente en el producto, crece al acercarse su peso específico al peso específico de la separación (1,45), debido a la dificultad de estratificación, en un rango de pesos específicos a cada lado de este valor. La anchura de este rango o banda, depende de las características propias del lavadero de pistón.

La dificultad para obtener una separación tajante y eficaz, reside en el valor de la proporción del carbón bruto, que posee un peso específico cercano, a aquel señalado como punto de separación.

Para otro tamaño del mismo carbón (1 1/4 a 1/4 pulgada) 31,6—6,3 mm. estudiado en el mismo lavadero de pistón, la curva de distribución de pesos específicos, cruza la línea de 50 por % de separación, para el peso específico 1,69, el cual es el punto de separación de aquel tamaño.

La cantidad de carbón lavado y de estéril, que flota y se hunde, en un líquido de peso específico igual al peso específico de separación (1,45 o 1,69) es la indicación más lógica, para un control perfecto de los lavaderos.

La tabla siguiente contiene estos datos:

	TAMAÑO MM.	
	75—31,6	31,6—6,3
Peso específico de separación	1,45	1,69
Del carbón lavado, no flota en % del carbón lavado en 1,45 ó 1,69.	4,5	1,0
Del estéril, flota en % del estéril en el líquido 1,45 o 1,69.	20,5	14,9
Rendimiento del carbón lavado %	78,0	92,6
Rendimiento de estéril %	22,0	7,4
Del carbón lavado, no flota en % del carbón bruto en liq. 1,45 ó 1,69.	3,5	0,9
Del estéril, flota en % del carbón bruto.	4,5	1,1
Total no flotando en liq. 1,45 ó 1,69, en el carbón lavado y flotando en el estéril.	8,0	2,0

El material distribuido de modo impropio, 8,0 por % del total, para el tamaño 75—31,6 mm. y 2 por %, para el tamaño 31,6—6,3 mm. representa de un modo claro el rendimiento de un dispositivo de lavado por pistón. La conclusión es evidente, el tamaño inferior es lavado más eficazmente. Los autores del citado Report del Bureau of Mines, no han podido demostrar, si esta mayor eficacia, debe atribuirse a una separación más fácil o una mayor adaptabilidad del lavadero de pistón, al tratamiento del tamaño inferior.

ENSAYO SOBRE LA FORMA DE LAS PARTICULAS

Una utilización de interés del método analítico, seguido con el aparato de separación de un carbón, en fracciones de varios pesos específicos, es el ensayo para determinar los porcentajes de los tamaños relativos y de la forma de las partículas, realizado por B. W. Gandrud y G. D. Coen, el Report Investigation 3315 (1936) del Bureau of Mines de Washington.

El ensayo consiste, en tamizar las fracciones, de cada uno de los pesos específicos obtenidos, con el carbón bruto, mediante una serie de tamices de malla cuadrada, cuyas anchuras varía según la $\sqrt{2}$. La escala Tyler, estandarizada en los Estados Unidos por el Bureau of Standards, tiene por base una abertura de 0,0029 pulgadas, para el tamiz de 200 mallas. En esta serie de tamices Tyler, la relación de abertura de cualquier tamiz, al siguiente, es igual a la raíz cuadrada de 2 o 1,414.

Después de pesar cada una de las partes así obtenidas, en aquel tamizado, se procede a otra nueva separación, mediante tres tamices de abertura rectangular, cuya anchura es aproximadamente 100,75 y 50 por %, respectivamente de la abertura del tamiz de malla cuadrada, sobre el cual, el producto quedó retenido. Al seleccionar estos tamices, la idea era obtener mallas cuyas longitudes fuesen tan grandes, como la diagonal de la abertura de la malla cuadrada, a través de la cual, el producto había sido previamente tamizado.

La mayor o menor proporción de formas laminares de un producto, estará indicado por las proporciones que pasan en cada uno de los tres tamices rectangulares. Un material que atraviesa la abertura 50 por % es francamente laminar. Este tipo de material, suele predominar en las fracciones de peso específico intermedio, debido a la concentración de bandas finas de fuseno que constituyen los planos de rotura o exfoliación del carbón. Y si existe en grandes proporciones, complica los problemas del lavado.

La tabla XVIII contiene un estudio de esta clase.

TABLA XVIII

Producto Tamaño mm.	Relación de aberturas de malla rectangular a mínima malla cuadrada en % (1)		Peso específico del producto		
			1,38—1,50	1,50—1,70	1,70—1,90
	Atraviesa	Retenido	Pesos %	Pesos %	Pesos %
19—4,6	—	100	17,7	12,2	11,7
	100	75	35,6	29,1	25,9
	75	50	34,6	35,2	35,5
	50	—	12,1	23,2	26,9
			100,0	100,0	100,0
4,6—1,16	—	100	13,4	8,9	8,8
	100	75	40,9	27,8	24,2
	75	50	35,2	41,3	40,1
	50		10,5	22,0	26,9
			100,0	100,0	100,0

Estos datos señalan, que el porcentaje de partículas laminares—que atravesaron el tamiz de 50 por % de abertura—crece al aumentar el peso específico. Como esta tendencia a romperse en laminillas, en un material frágil como el carbón, no puede determinarse con exactitud, los resultados solamente tienen un valor, desde el punto de vista de aquella tendencia en su mayor o menor grado.

LIBERACION POR MOLIENDA DE LAS IMPUREZAS DEL CARBON

Otra interesante finalidad, que puede conseguirse con el análisis densimétrico de los carbones, es la de conocer las ventajas que reporta la desintegración artificial de los mismos, antes de su purificación por lavado, estudiada por A. C. Richardson y B. W. Gandrud, en el Report of Investigation 3206 del Bureau of Mines, de Washington.

(1) Anchura de la malla rectangular, dividida por la abertura de la malla cuadrada, sobre la cual el producto queda retenido, en porcentajes.

La tabla XIX señala el efecto de la molienda de las fracciones de tamaños 76—26 mm. y 26—19 mm. hasta que atravesaban el tamiz de 3/16 pulgadas (4,7 mm.) de mallas cuadradas. Se recogen los datos de rendimientos y contenido en cenizas del carbón original y el molido, en puntos de igualdad de dificultad en el lavado, deducidos sobre la base de las curvas $\pm 0,10$, cuya significación ha sido anteriormente señalada.

T A B L A X I X

Tamaño mm.	76—26				26—19			
	Molido		Original		Molido		Original	
	Rend. % en $\pm 0,10$	Ceniz. %	Rend. % en $\pm 0,10$	Ceniz. %	Rend. % en $\pm 0,10$	Ceniz. %	Rend. % en $\pm 0,10$	Ceniz. %
10,0	97,5	12,7	93,7	11,2	96,0	12,1	93,5	11,7
15,0	96,5	12,0	92,5	11,0	95,2	11,9	92,2	10,7
20,0	95,7	12,4	91,1	10,8	94,5	11,8	90,8	10,5

Estos datos indican, que la desintegración permite reducir el porcentaje de cenizas en el carbón lavado, solo en 1,5 por %, para una separación efectuada a un peso específico de igual dificultad que con el carbón bruto.

LAS CURVAS DE LAVADO, EN RELACION A LA SEPARACION DEL AZUFRE

B. W. Gandrud, G. D. Cae y M. F. Thomas, han estudiado en el Report of Investigation 3157 del Bureau of Mines, de Washington, la preparación de carbones en Alabama, para determinar la cantidad de cenizas y azufre, en los productos destinados a la preparación de cok metalúrgico, en el cual la proporción de azufre es de gran importancia o decisiva.

El análisis densimétrico de las diferentes muestras, fraccionadas según varios tamaños, suministran los datos básicos para proceder a dicho estudio.

En la tabla XX se reproducen los datos del análisis densimétrico y de la distribución del azufre, en una muestra todo uno de Cedar Cover.

T A B L A X X

Peso específico	Peso %	Ceniz. %	Peso % acumulad.	Ceniz. % acumulad.	Azufre %	Azufre % acumulad.
< 1,28	28,2	1,5	28,2	1,5	0,88	0,88
1,28—1,30	38,3	2,2	66,5	1,9	1,10	1,01
1,30—1,38	10,0	6,9	76,5	2,6	3,02	1,27
1,38—1,50	4,9	13,9	81,4	3,2	4,81	1,48
1,50—1,70	4,6	24,8	86,0	4,4	5,31	1,69
1,70—1,90	2,5	45,4	88,5	5,6	6,05	1,81
> 1,90	11,5	75,7	100,0	13,6	6,41	2,34

El carbón bruto contiene 2,34 por % de azufre distribuido así: azufre pirítico 1,64 por %, azufre orgánico 0,70, azufre de sulfatos, trazas. Para las curvas de la fig. 14, cenizas por % acumuladas, cenizas elementales, pesos específicos, distribución $\pm 0,10$ de pesos específicos, ya queda indicado el modo de su construcción e interpretación.

Una nueva curva, es la que representa los pesos acumulados de cada fracción en porcentajes, en función de los porcentajes de azufre acumulados (columnas 4 y 7). Esta curva señala, que una gran proporción del azufre pirítico, puede eliminarse, lavando el carbón después de su desintegración a 3/16 pulgadas, ya que la pirita no se halla finamente diseminada. El carbón bruto contiene 2,34 por % de azufre, mientras la curva de lavado fig. 14, indica que para el peso específico supuesto en la separación 1,445, el contenido en azufre del carbón lavado deberá ser, solamente de 1,39 por %.

EL PUNTO DE FUSION DE LAS CENIZAS Y EL ENSAYO DE FLOTACION

A. Van Ahlen (*Brennstoff-Chemie* 15, 461, 1934) ha tratado el interesante tema del punto de fusión de las cenizas del carbón y del cok, en relación con los perjuicios causados por el carbón con cenizas de bajo punto de fusión en las parrillas de los hogares, especialmente en los hogares mecánicos, y en el caso del cok de alto horno, con cenizas de bajo punto de fusión, por la reacción química de las mismas con el hierro y la aglomeración con el cok, a elevadas temperaturas.

El autor de aquel trabajo, estudia un schlamm del Ruhr, de 0,75 a 0 mm. que somete al lavado en un aparato de flotación por espuma, una vez fraccionado, según los tamaños indicados en la siguiente tabla XXI, en la que figuran las cenizas y la reducción del porcentaje de éstas, referidos al total de las mismas.

T A B L A X X I

Tamaño mm.	CENIZAS %		Reducción %
	Schlamm bruto	Schlamm lavado	
0,75—0,5	16,16	10,85	32,86
0,5—0,2	19,53	9,91	49,58
0,2—0,102	21,01	11,59	46,74
0,102—0,088	30,19	13,18	56,34
< 0,088	31,72	18,16	42,75

La composición de las cenizas, para cada tamaño de grano, en ambos schlamms es:

Tamaño mm.	Si O ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		Ca O		P ₂ O ₅	
	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F
0,75—0,5	49,23	48,15	27,16	29,20	15,04	13,70	2,75	1,90	0,72	0,79
0,5—0,2	46,26	47,15	28,80	29,50	16,70	13,50	2,05	0,49	0,49	0,53
0,2—0,102	45,00	46,88	26,88	29,15	18,80	15,40	2,63	0,37	0,37	0,73
0,102—0,08	45,98	46,77	25,20	26,75	19,20	18,70	2,50	0,58	0,58	0,35
0,088	46,17	46,68	25,58	27,00	18,62	17,20	2,60	1,80	0,43	0,50

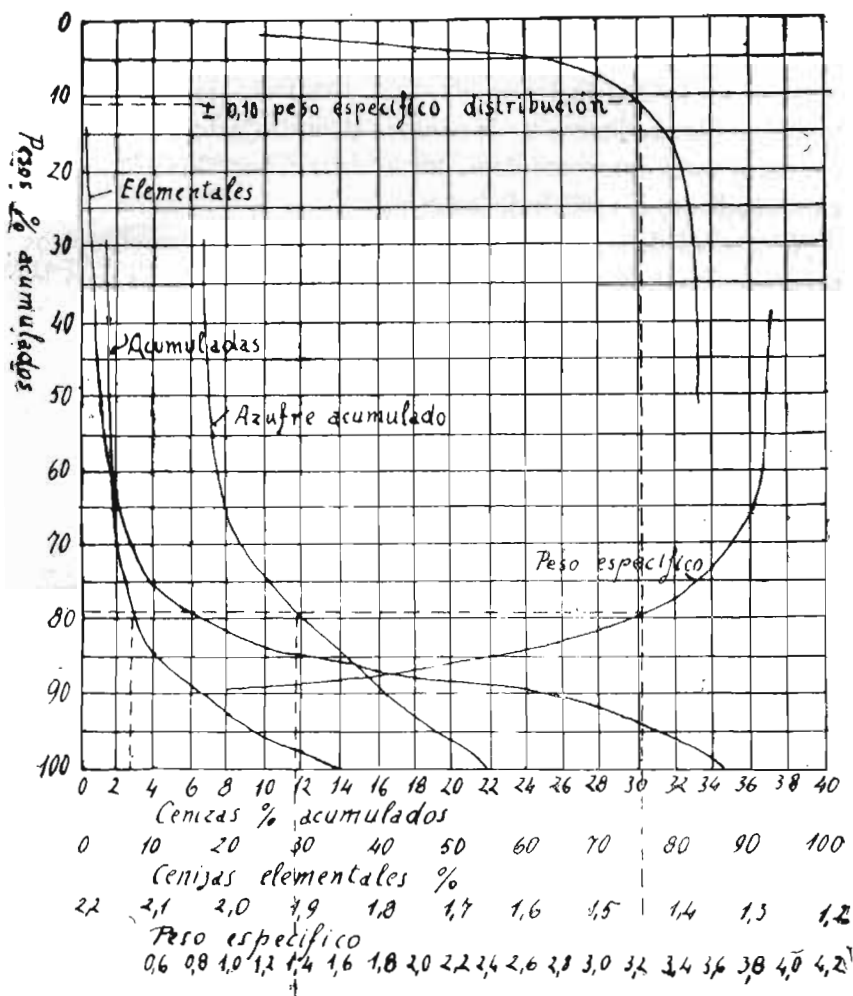


Fig. 14

Separación supuesta al peso específico 1,445. Cenizas en el carbón lavado 2,9%; azufre en el mismo 1,39%

B = schlamm bruto, F = schlamm flotado.

Esta composición de las cenizas, está condicionada: 1.º por la relación porcentual de los constituyentes macroscópicos y 2.º por

las impurezas minerales propias de cada uno de estos constituyentes.

Lessing (J. Chemical Soc. 117, 258, 1920) dió por vez primera, los resultados analíticos de la composición de las cenizas, de los constituyentes macroscópicos, haciendo así posible su identificación, mediante el análisis de las cenizas.

El análisis de las cenizas de los constituyentes macroscópicos, separados en estado de gran pureza, de un carbón inglés, dió los siguientes resultados:

	Fuseno	Dureno	Clareno	Vitreno
Si O ₂	8,84	50,54	9,44	6,08
Al ₂ O ₃	8,66	42,34	16,58	15,49
Fe ₂ O ₃	3,37	1,36	3,31	3,09
Mn O	0,51	nulo	0,23	0,13
Ti O ₂	0,04	0,44	0,50	0,24
Ca O	57,00	3,69	12,98	15,22
Mg O	1,30	nulo	10,52	1,87
Na ₂ O	3,24	nulo	15,71	17,67
K ₂ O	0,67	nulo	—	0,20
S O ₃	14,65	3,23	32,18	30,89
P ₂ O ₅	—	—	0,01	trazas
C O ₂	2,98	—	—	6,69
	101,26	101,60	101,46	97,57

El dureno contiene según Lange (Fusit. 1929, Stuttgart) el contenido más alto en silice (Si O₂) y alumina (Al₂ O₃) y solo pequeña cantidad de Fe₂ O₃, alcalis y cal, siendo su constitución cercana al 95 por % del total de la ceniza la suma Si O₂ + Al₂ O₃

El hecho más sorprendente, es el elevado porcentaje de cal, en las cenizas del fuseno (57,0 por %.)

Es también notable, la proporción de magnesia en las cenizas del vitreno, ya que dicho elemento químico, el magnesio, es el me-

tal que entra a formar parte de la complicada molécula orgánica de la clorofila, cuya estructura química, ha sido ya aclarada.

El porcentaje de SiO_2 , en el vitreno, es casi igual al del fuseno y mucho más bajo que en el dureno. El contenido en Al_2O_3 es 10—18 por $\%$ más elevado que en fuseno. Al contrario, el contenido en Fe_2O_3 del fuseno, es casi igual al del vitreno.

Un estudio de los datos existentes en la literatura, dados por Rittmeister, Stopes y Wheeler, Winter y Monning, Hoffmann, y Lessing ha permitido generalizar aquellos conocimientos acerca de la composición de las cenizas de los constituyentes macroscópicos.

Mediante el ensayo de flotación con líquidos densos y la observación microscópica, se pudo deducir los siguientes porcentajes de los constituyentes macroscópicos, en el referido schlamm bruto y lavado del Ruhr.

Tamaño mm.	Vitreno		Dureno		Fuseno	
	Bruto $\%$	Lavad. $\%$	Bruto $\%$	Lavad. $\%$	Bruto $\%$	Lavad. $\%$
0,75—0,5	75	71	15	11	10	18
0,5—0,2	76	70	15	10	9	20
0,2—0,102	75	70	14	8	11	22
0,102—0,088	71	63	12	7	17	30
< 0,088	60	51	14	5	26	44

Según la composición de las cenizas de los constituyentes macroscópicos, debe ocurrir una disminución del contenido en sílice y alumina, por disminución del contenido en dureno. El lavado reduce en efecto la cantidad de sílice—silicatos de cal y magnesia—pirita y silicatos alcalinos y por esto, reduce el punto de fusión de las cenizas. La disminución no es sin embargo muy importante y varía entre 0,4 a 3,8 por $\%$ del punto de fusión inicial.

El estudio de los datos anteriores, conduce a varias conclusiones interesantes.

La flotación deberá perseguir, obtener una relación de los cons-

tituyentes en el carbón lavado, de modo de obtener, una composición de las cenizas, cercana a la constitución de la arcilla $Al_2 O_3$, $2 Si O_2$, cuyo alto punto de fusión, es reducido por el hierro, cal magnesia y los alcalis.

Los puntos de fusión de las cenizas de los constituyentes macroscópicos del carbón, varían como es lógico, con la composición de sus cenizas, pero la regularidad observada en su composición química, se refleja en la siguiente tabla de sus puntos de fusión determinados por Winter y Monning (Glucakuf 1931) y Sinnatt (J. Soc. Chem. Ind. 1923).

Constituyente	Winter	Sinnatt
Vitreno	1125—1200° C	1310—1340° C
Dureno	1600° C	1430—1450° C
Fuseno	1060° C	1200—1220° C

En relación con la composición en los diversos constituyentes, el autor confirma la disminución que sufre el punto de fusión de las cenizas de las distintas fracciones al decrecer el tamaño de grano en éstas.

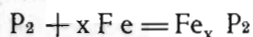
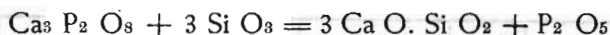
Tamaño mm.	Punto de fusión ° C	
	Bruto	Lavado
0,75—0,5	1280	1271
0,2 —0,102	1220	1215
<0,088	1138	1004

INVESTIGACION DEL FOSFORO EN EL CARBON, MEDIANTE EL ANALISIS DENSIMETRICO

E. Hoffmann (Brennstoff-Chemie, 1934) ha estudiado el contenido de fósforo, tema del mayor interés, en relación con la pro-

ducción del cok metalúrgico, con menos de 0,025 por % de este elemento para la fundición, el acero Bessemer y los ferromanganesos.

El fósforo existente en el mineral y en el cok, pasa casi por entero al hierro bruto, según las ecuaciones.



Las escorias muy básicas, pueden retener una parte del fósforo sin reducir. Y según las condiciones del soplado, en la zona de oxidación, una parte del fósforo es oxidada de nuevo a $\text{P}_2 \text{O}_5$ y con un exceso de cal escorificado. Pero prácticamente la relación de fósforo total a fósforo en la escoria,—que suele ser de 0,01-0,04 por %—, dicha relación es pequeñísima, no existiendo posibilidad de separar el fósforo del hierro, por reacción química en el alto horno.

Los estudios de Simmerbach, Buchler, Cawley, Hyslop y Burns, L. Lambert y otros, han conducido a aclarar la distribución del fósforo y el azufre, entre los elementos constituyentes macroscópicos del carbón,—vitreno, clareno, dureno y fuseno—. Ya queda indicada, la separación de estos constituyentes mediante el ensayo analítico densimétrico, utilizando sus diversos pesos específicos. El análisis microscópico siguiendo la técnica del microscopio metalográfico, permite hallar el porcentaje de cada constituyente, en las fracciones de distinto peso específico.

Nosotros hemos hallado, en los carbones asturianos de cok de «Hulleras del Turón», la siguiente distribución:

Peso específico	Constituyente
< 1,32	vitreno
1,32—1,36	vitreno y poco dureno
1,36—1,40	dureno y poco fuseno
1,40—1,59	fuseno
> 1,59	pizarra, pirita y fuseno

El porcentaje de fósforo en el durenó y fuseno, es más elevado que en el vitrenó y clarenó.

Davies (Fuel 1926) ha hallado en un carbón de Gales, la siguiente distribución densimétrica del fósforo:

	< 1,3	1,325	1,35	1,45	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	> 2,4
P	0,015	0,043	0,100	0,147	0,410	1,163	0,267	0,092	0,042	0,111
P	0,008	0,012	0,014	0,017	0,018	0,117	0,117	0,087	0,056	0,139

confirmando así que el fuseno, es en general el constituyente petrográfico de los carbones, más rico en fósforo. Como el polvo de fuseno, se concentra **en los tamaños más finos, se puede** en muchos casos lograr, una **reducción del porcentaje en fósforo** de un carbón, por separación del polvo, de densidad 1,40—1,60.

En efecto, tamizando varios carbones, aquel autor halla los siguientes resultados:

Tipo del carbón	Tamaño mm.	Peso %	Fósforo %	Azufre %
De llama larga I	6—10	15,3	0,027	1,26
	0,1—6	78,3	0,023	—
	< 0,6	6,5	0,121	2,14
Graso II	3—6	20,4	0,021	—
	0,1—3	71,5	0,020	—
	< 0,1	8,1	0,072	4,10
Graso	0,1—6	93,4	0,023	—
	< 0,1	6,6	0,137	—

Y en los carbones I y II, determina el porcentaje de fósforo, de cada uno de los constituyentes macroscópicos.

Carbón	Constituyente	Fósforo %
I	Vitreno	0,022
	Dureno	0,013
	Fuseno	0,036
II	Vitreno	0,010
	Dureno	0,012
	Fuseno	0,179

Por flotación con un líquido de densidad 1,5, logra separar un carbón de cok, que ya había sido lavado, en dos fracciones, una que flota sobre aquel líquido y contiene 0,008 por % de fósforo y la otra con 0,164 por % del mismo elemento.

En cambio, no parece que pueda establecerse una relación, entre los porcentajes de cenizas y el contenido en fósforo.

Carbón	ANÁLISIS QUÍMICO		
	Ceniza %	Fósforo %	Azufre %
P1	4,15	0,015	1,79
M	6,73	0,028	1,84
E	11,04	0,078	2,4
P2	4,06	0,008	
D	8,90	0,035	
Z	4,03	0,003	
S	13,28	0,023	

Pueden existir carbones cok con elevado porcentaje de fósforo y reducido de cenizas.



CONCLUSIONES

Se ha ideado y construido en España, un aparato para realizar el ensayo analítico de la separación densimétrica de los carbones, que tiende a evitar los errores de los dispositivos utilizados para tal fin y que suministra resultados reproducibles, según la larga experiencia lograda con el mismo, en el Instituto del Carbón de la Universidad de Oviedo.

Partiendo de una muestra de carbón y utilizando simultáneamente cinco aparatos, se puede efectuar el análisis densimétrico, en pocas horas.

La utilidad de estos ensayos, combinados o no, con la separación granulométrica, mediante una serie de tamices, ha sido indicada anteriormente en numerosos casos prácticos y ejemplos. La gran importancia, que en todo problema de lavado de carbones en general y de minerales en particular, representan las curvas de lavado, hace a la separación densimétrica, un tema del mayor interés, para una explotación racional de cualquier dispositivo de separación, entre los minerales y sus impurezas.

El análisis densimétrico, unido con la observación microscópica de las diversas fracciones de pesos específicos obtenidas, suministra los porcentajes de los constituyentes macroscópicos del carbón—fuseno, durenó y vitrenó—cuya distinta composición química y diverso comportamiento, originan las características típicas, en la serie de los carbones.