

SOBRE LA FLOTACION DE MINERALES COMPLEJOS DE COBRE Y COBALTO

P O R

CARLOS DEL FRESNO y ANGEL ARIAS FERNANDEZ

En la parte Norte de la provincia de León (Cármenes, Villamánin) y en Asturias (El Aramo) existen minerales complejos oxídicos de cobre y cobalto, y en la primera de dichas localidades y en Cabrales (Asturias) minerales sulfídicos de los mismos metales. Dado el valor elevado de los metales cobalto y cobre en ellos contenidos, así como en el del níquel, que les acompaña a veces, se comenzó a estudiar en 1935 el aprovechamiento de estos minerales por uno de nosotros (C. F.) en la Sección Metalúrgica del Instituto de Química Aplicada y en el Laboratorio de Análisis Físico-Químico, proponiéndose en estos estudios lograr el aprovechamiento eficaz de los metales en ellos contenidos. Por causas diversas se interrumpieron al siguiente año dichos estudios, los que han reanudado a principios de 1943 en la reorganizada Sección Metalúrgica del ya mencionado Instituto. En el presente trabajo damos cuenta de algunos ensayos sobre la aplicación de los métodos de flotación a los citados minerales, efectuados con el fin de ver si era posible la concentración de los mismos por este método con eficacia suficiente para llegar a una aplicación técnica del mismo.

Entre los métodos de concentración de minerales han alcanzado una aplicación muy extensa los *métodos de flotación*, basados como es sabido en separar la mena de la ganga en el mineral finamente triturado y en suspensión en agua por la acción de ciertos reactivos que, absorbidos selectivamente por la mena, hacen que ésta no sea mojada y tienda a separarse en las superficies de separación líquido-gas que constituyen la espuma, la cual se origina en el medio por agitación violenta de ésta e insuflación de aire, previa adición al medio citado de reactivos que producen dicha espuma.

Vamos a dar una breve idea de en qué consiste la flotación y fundamentos científicos de la misma. (1).

Trituración y molido.—Lo primero que se necesita es que la trituración del mineral conduzca, de una parte, a un tamaño de partículas suficientemente pequeño para que sean capaces de flotar. Partículas grandes poseen una velocidad de sedimentación más elevada que las partículas pequeñas y aquélla es tanto mayor cuanto mayores son las partículas. Por otra parte es necesario igualmente llegar en la trituración a un grado de finura de partículas tal que se produzca la separación de mena y ganga, en los casos en que una y otra se presenten íntimamente interpuestas, lo que ocurre frecuentemente. Si un mineral de estos últimos se tritura hasta un tamaño insuficiente, las partículas obtenidas tienen análoga composición que el material de partida y la flotación produce enriquecimiento nulo o insuficiente. En cambio, si se llega a un grado de finura suficientemente elevado, el enriquecimiento o concentración alcanzada es mayor y suficientemente elevado. No vamos a describir los aparatos de trituración y molido utilizados en la flotación industrial, si bien más adelante expondremos el camino seguido por nosotros en estos ensayos de laboratorio.

Para la separación de las partículas de diferentes tamaños se utilizan tamices de tamaño adecuado. Nosotros empleamos juegos de tamices de laboratorio cuya descripción haremos luego.

Reactivos de flotación: sus clases.—Los reactivos de flota-

ción son de dos clases. Tenemos, de una parte, los reactivos de flotación propiamente dichos y, de otra, los reactivos reguladores.

En el primer grupo incluimos:

a) *Colectores*, que son los que provocan la unión del mineral con las burbujas de aire en el medio de flotación (turbio) y su enriquecimiento en la espuma.

b) *Espumantes*, reactivos que se añaden al turbio para provocar en él la formación de espuma.

Estos reactivos son esenciales en todo proceso de flotación, el que no se verifica sin ellos.

Existen reactivos que presentan simultáneamente propiedades colectoras y espumantes, no siendo necesaria entonces la adición de un segundo reactivo.

En el segundo grupo tenemos los reactivos reguladores, los cuales se añaden al turbio en presencia de colectores y espumantes para modificar la capacidad de flotación de los minerales. Se dividen en:

c) *Reactivos depresores* (o, simplemente, *depresores*), los cuales disminuyen la capacidad de flotación de aquellos minerales cuya presencia en la espuma no interesa, por lo menos de momento, para lo cual los citados reactivos *deprimen* en el turbio a los citados componentes.

d) *Reactivos activadores* (o, simplemente, *activadores*), los cuales devuelven su capacidad de flotación a los minerales que la habían perdido por la acción de un depresor.

e) *Reactivos reforzadores*, los cuales hacen flotar los minerales que no poseen capacidad natural para ello, o que la tienen baja.

Existen, por último, los denominados *venenos de flotación*, los cuales impiden o dificultan la flotación de los minerales. Desde luego que estos venenos no suelen ser añadidos intencionadamente al turbio, pudiendo existir en él. Para evitar su acción, se añaden al turbio los denominados *contravenenos*.

Los *colectores* disminuyen la capacidad que los minerales poseen para ser mojados, al tiempo que favorecen la unión de aquéllos

con las burbujas de aire. Su presencia en el turbio de flotación es por consiguiente esencial en casi todos los casos, exceptuando sin embargo aquéllos en que se trata de minerales de carácter no polar fácilmente flotables (grafito, carbones minerales, azufre, molibdenita y talco, entre otros).

Los colectores son casi siempre sustancias orgánicas con moléculas de estructura simultáneamente polar y no polar, las cuales vuelven al mineral en el seno del turbio más hidrófobo de lo que era en estado natural, y ello mediante un proceso de reacción química o absorción. La extremidad polar de la molécula queda dirigida hacia la superficie del mineral, mientras que la parte no polar queda hacia afuera y provoca la repulsión del agua de la partícula mineral. Ocurre a veces en los colectores, que el grupo polar es a la vez metalófilo (es decir, tiene afinidad por los metales) e hidrófilo (como ocurre con los grupos OH, COOH y NH_2), en cuyo caso tales colectores son a la vez espumantes. En este grupo de sustancias, denominadas *colectores-espumantes*, figuran los cresoles, creosotas, ácidos grasos, aminas y las mezclas que contienen estas sustancias.

El estudio sistemático más completo de acción colectora de diferentes reactivos fué efectuado por Taggart (2) y permitió deducir relaciones interesantes entre la acción colectora y la estructura química. Todos los colectores estudiados son combinaciones polares-no polares que poseen en su molécula un grupo polar que contiene *azufre divalente* o nitrógeno trivalente. La mayor eficacia la poseen el azufre unido a un átomo de hidrógeno S-H o un metal S-Me, siendo mucho menos activo el azufre unido a un radical orgánico S-R. En cuanto al nitrógeno, los grupos más activos son el amino, NH_2 , y el diazo, $\text{N}=\text{N}-\text{N}$. El resto de la molécula debe ser por lo menos una cadena o resto de 8 átomos de carbono. La solubilidad de los colectores es generalmente débil (O,2-O,3 gr. / l) y aquéllos que son más solubles (xantatos o xantogenatos) se emplean en concentraciones muy bajas.

Dijimos ya que existen reactivos que poseen simultáneamente

el carácter de colectores y espumantes. Como veremos, también éstos últimos son compuestos polares—no polares, es decir, poseen análoga constitución estructural, por lo que se explica bien que determinadas combinaciones posean a la vez propiedades colectoras y espumantes, pues en el primer caso son absorbidas en la superficie de separación mineral-agua, y en el segundo en la superficie de separación agua-aire. Muchos compuestos que poseen el grupo amino, NH_2 , son buenos colectores-espumantes (anilina, toluidina, xilidina, naftilamina, etc.) Para los minerales oxídicos han mostrado su eficacia como colectores-espumantes los ácidos grasos elevados y sus sales alcalinas (jabones). Son raros los casos en los que se utiliza solamente el colector-espumante; lo corriente es elevar la capacidad de formación de espuma por adición de espumantes determinados.

Los espumantes son, como ya hemos dicho, sustancias que se añaden al turbio de flotación para provocar la formación de espuma. Las condiciones que se exigen de un buen espumante para su empleo en la flotación industrial son: suficiencia de cantidades pequeñas de sustancia para formar espuma persistente, que ésta posea bastante consistencia y estabilidad, que se reparta bien en el turbio y que no actúe sobre la superficie del mineral, limitándose tan sólo a su acción sobre la superficie de separación agua-aire.

Los espumantes generalmente empleados son casi siempre sustancias que disminuyen la tensión superficial del agua. Como la disminución de la tensión superficial produce una disminución paralela de la capacidad de mojado del mineral, lo que se opone a la fijación del colector sobre aquél, es conveniente en la práctica agregar primero el colector y los reactivos reguladores al turbio y, al cabo de algún tiempo de actuar aquél, se añade el espumante.

Para conseguir que flote una tonelada de mineral en la superficie libre de nivel del agua, necesitaría tener esta superficie un valor imposible de alcanzar en la práctica. La producción de una espuma densa y persistente eleva extraordinariamente la superficie límite aire-agua, la que alcanza entonces el valor exigido.

Los espumantes son generalmente sustancias orgánicas que contienen un grupo ávido de agua (hidrófilo) y otro grupo que la repele (hidrófobo) y que, generalmente, está constituido por un resto o radical hicarbonado. Entre los grupos hidrófilos más frecuentes en los espumantes pueden citarse los siguientes: OH (alcoholes, fenoles), CO (aldehidos, cetonas), COOH (ácidos), CONH₂ (amidas), RCOOR' (ésteres) y ROR' (éteres). A veces existe el grupo NH₂ en los espumantes, pero este grupo tiene a la vez propiedades colectoras.

Como reactivo de laboratorio se emplea mucho el terpineol, insoluble en el agua. Actúa formando abundante espuma a concentraciones incluso muy pequeñas (hasta 25 gr/t.). A causa de su precio elevado no se ha empleado en la flotación industrial. En ésta se utilizan preferentemente los aceites de pino (pine oils), aceite de eucalipto y otros.

Entre los reactivos de otras clases mencionadas en la clasificación efectuada—reactivos que, conjuntamente, suelen denominarse *reactivos reguladores*—tenemos los que hemos incluido bajo las denominaciones de depresores, activadores y reforzadores. Aparte de éstos tenemos aún los regulares del pH, que desempeñan esencial papel en los procesos de flotación. No vamos a detallar sobre el particular, limitándonos después a mencionar los usados por nosotros.

Teoría de la flotación.—Sobre el mecanismo de la flotación existen diversas teorías (3) a cuyo detalle no vamos a descender. Todas ellas no consideran realmente más que aspectos parciales de la misma cuestión fundamental, por lo que—teniendo todas ellas un fondo de realidad experimental no son suficientes separadamente a explicar el fenómeno de la flotación, ya que éste es regido por la influencia de un verdadero cúmulo de variables. La consideración del denominado *ángulo de contacto* arroja mucha luz sobre la capacidad de las sustancias para ser mojadas, de la cual depende directamente la flotabilidad, pudiendo decirse que ésta es tanto mayor cuanto más elevado es el ángulo de contacto. Cuan-

do éste vale 0° , la substancia es totalmente mojada y no puede flotar, sumergiéndose. Si el ángulo de contacto es pequeño, solo pueden flotar las partículas de pequeño tamaño; al hacerse cada vez mayor el ángulo de contacto, el tamaño de las partículas capaces de flotar aumenta. El ángulo de contacto de aquella substancia de una mezcla de dos que no debe flotar ha de ser 0° , para que siendo totalmente mojada se sumerja, separándose de este modo de la otra. El peso específico tiene también una influencia muy grande sobre la capacidad de flotación. Los materiales de gran peso específico solo podrán flotar si el tamaño de sus partículas es pequeño, aún poseyendo un elevado ángulo de contacto. Por lo que se refiere a la constitución de la red cristalina de las substancias en relación con la facilidad para ser mojadas se ha visto que los minerales con redes típicamente iónicas tienden a ser mojados fácilmente por el agua y si en la red cristalina existe exígeno como componente, el mineral se vuelve hidrófilo. En cambio los sulfuros de metales pesados, que solo contienen en su red cristalina átomos o iones de metal y azufre, son por naturaleza hidrófobos y sólo si se oxidan superficialmente pierden su capacidad de flotación por volverse hidrófilos. Muchos minerales flotarían espontáneamente sin necesidad de adicionar un reactivo colector, separándose en la espuma si el tamaño de partícula es suficientemente pequeño. La presencia del colector refuerza su capacidad de flotación, subsistiendo ésta para tamaño de partícula mayor. Prescindiremos de la influencia de otros factores.

Vamos a describir a continuación las experiencias realizadas por nosotros.

Los minerales utilizados por nosotros en estas experiencias procedían de la mina «La Profunda» de Villamanín (León) y de la mina «Ninón» de Cabrales (Asturias).

El mineral de Villamanín está constituido por óxidos negros de

cobalto que contienen manganeso (asbolana) y, en mezcla con éstos, hidratos de cobre (malaquita y azurita), todo ello sobre una ganga dolomítica. En cuanto al mineral de Cabrales presenta el cobalto y níquel parcialmente en forma de combinación sulfurada, mientras que la ganga contiene, además del calcio y magnesio, una proporción elevada de sílice.

Las muestras del mineral a estudiar se trituraban en un mortero de hierro hasta grano fino, y luego se pulverizaban finamente en un mortero de porcelana. Después se efectuaba el análisis por tamizado. Se emplearon tamices números 140, 180 y 200, con 52, 66 y 74,5 mallas por centímetro, respectivamente. Los números representan mallas por pulgada inglesa lineal. Para el material comprendido entre los tamices 110-140 admitiremos una cifra de finura de 61,64 % y para los materiales entre 140-180 y 180-200 las cifras respectivas de finura serán 78,95 y 93,75 %. El material que pasa el tamiz de número 200 tiene una finura de 100 %. A base de estas cifras de finura determinaremos en cada caso el grado de finura del mineral a flotar siguiendo las normas dadas por E. H. Rose (4).

Las experiencias de flotación se efectuaron en dos aparatos de laboratorio diferentes. El primero y más sencillo consta de una probeta cilíndrica de 500 c. c. de capacidad, en la que se pone el turbio de flotación, al cual se han añadido previamente los reactivos necesarios para que aquélla se produzca. Entonces se introduce un agitador formado por una varilla de latón que termina en una placa circular del mismo material, provista de agujeros. Al elevar y descender la varilla se introduce aire en el líquido y se produce espuma, la cual flota y engloba la parte de mineral flotable. A medida que se forma dicha espuma se aspira por un tubo de vidrio unido mediante una goma a un kitasato por cuya tubulura lateral se hace el vacío mediante una trompa. Algunas experiencias se efectuaron con una máquina de flotación de laboratorio provista de motor.

En los análisis de los minerales utilizados, así como de los concentrados obtenidos se determinaron el cobre, hierro, níquel y cobalto, o — algunas veces — la suma de los dos últimos. En todos los casos se disolvió el mineral en agua regia, evaporó a sequedad (repetiendo, a veces, esta operación), añadió ácido clorhídrico diluido y calentó a ebullición para disolver todo, excepto el residuo silicioso. Filtrado éste y lavado, se concentra el líquido por evaporación y se añade SO_4H_2 , evaporando hasta humos blancos con objeto de transformar los cloruros en sulfatos. Estos se disuelven en agua a ebullición, quedando como residuo la mayor parte del sulfato cálcico. Se filtra éste, lava y pasa corriente de SH_2 al filtrado para precipitar el cobre. Separado el SCu por filtración y dejado aparte, se hierve el filtrado para expulsar el exceso de SH_2 y añade NO_3H para oxidar. Se precipita el hierro con solución acuosa de amoníaco hasta que se perciba ligeramente el olor de éste último, en algunos casos se repetía esta operación, previa redisolución en SO_4H_2 del precipitado obtenido. Una vez separado el hierro, cuyo precipitado de hidróxido se dejaba aparte, se llevaba el filtrado a un matraz aforado y enrasaba, tomándose una fracción conocida del volumen total, la cual se ponía en un vaso de Jena (forma alta) de 150 c. c. de cabida. Se añaden entonces sulfato amónico, amoníaco y una pequeña cantidad de sulfito sódico y entonces se determinaba electrolíticamente la suma del Co y Ni, empleando un cátodo de lámina de níquel (5) con vástago del mismo metal y un ánodo de alambre de platino, arrollado en tirabuzón sobre un agitador de vidrio accionado a motor. La corriente para la electrólisis, que se efectuaba a 60-70°, se tomaba de una batería de acumuladores de 6 voltios cerrado sobre una resistencia de corredera montada en potenciómetro, de la que se derivaba el circuito de electrólisis, en el cual iban intercalados un voltímetro y un amperímetro. La fuerza electromotriz usualmente empleada era de 3 voltios y la intensidad de 1,5 a 2 amperios. Una vez terminada la electrólisis—lo que se reconocía tomando con una pipeta una pequeña cantidad del líquido del vaso y evaporándola a sequedad en

una cápsula de porcelana, añadiendo solución de sulfocianuro amónico, y un poco de ClH , con lo que no aparecía color azul alguno si aquella estaba terminada—se sacaba el cátodo del vaso sin interrumpir la corriente, sumergiéndole entonces rápidamente en un vaso con agua y lavándole después con agua corriente, agua destilada y alcohol, secándole a 110° en la estufa y pesándole, una vez frío. El aumento de peso nos daba la suma del Co y Ni contenidos en la parte alicuota tomada de la muestra, calculándose de él la cantidad contenida en la muestra tomada. En otra porción de la solución del matraz aforado se determinaba gravimétricamente el Ni por precipitación en solución amoniacal con disolución alcohólica de dimetilglioxima al 1 %. La diferencia entre la suma $\text{Co} + \text{Ni}$, determinada por electrólisis, y el níquel determinado con la dimetilglioxima nos daba el cobalto.

El hierro contenido en el hidróxido filtrado se disolvía en SO_4H_2 , reducía con cinc en un matraz cerrado y provisto de una válvula de Bunsen. La solución ferrosa así obtenida se valoraba con solución 0,1 N de permanganato potásico.

El filtro con el precipitado de SCu se incineraba y trataba con unas gotas de NO_3H , evaporando luego con SO_4H_2 hasta humos blancos. Se tomaba con agua el contenido del crisol y se pasaba a un vaso de 150 c. c. en el que se electrolizaba (6) con un cátodo de malla de latón con vástago de cobre y el mismo ánodo de platino que anteriormente, operando como antes a unos 3 voltios y 0,5 amperios. Terminada la electrólisis (lo que se reconocía con ferrocianuro potásico), se lavaba el cátodo con agua y alcohol y se caba en la estufa a 110° , pesándole. En algunas experiencias el cobre se determinaba por valoración contra solución 0,1 N de $\text{S}_2\text{O}_3\text{Na}_2$.

Algunas veces se pesaba el residuo silicioso en crisol tarado, después de incinerar el filtro.

EXPERIENCIAS DE FLOTACION REALIZADAS:

Experiencia n.º 1.—Mineral de escombrera de «La Profunda».

Análisis del mineral de partida.—Peso de la muestra: 1,3510 grs.

Cobre determinado por valoración con la sol. 0,1 N de $S_2O_8 Na_2$ ($f = 0,9091$).

0,43 %

Hierro determinado por valoración con sol. 0,1 N de MnO_4K ($f = 1,050$).

0,79 %

Cobalto y níquel por electrólisis con corriente de 3,5 volts. y 1,7 amps.

2,38 %

Análisis por tamizado.—Se pulverizan 85 grs. de mineral y se tamizan procurando que pase un 70-80 % por el tamiz n.º 200.

N.º tamiz	Lim. inf. de malla	Cifra de finura	Análisis por tamizado		
			Peso	Residuo %	A sumar
140	0.105	61,64 %	10,00	12,19	751,39
140-180	0,085	78,95 »	6,00	7,32	577,12
180-200	0,075	93,75 »	1,00	1,22	113,43
200	—	100,00 »	65,00	79,27	7926,00
			82,00	100,00	9367,94

Grado de finura = 93,67 %

Aparato de flotación utilizado.—Probeta de 500 c.c. y agitador.

Turbid de flotación.—50 grs. de mineral + 150 c. c. de agua.

Se sulfuraba previamente a 70° durante 15 min. con 0,5 c. c. de solución de SNa_2 al 5 % (500 g. / t.). + 1 c. c. de sol. de $CO_3 Na_2$ al 10 % (2000 g. / t.). Se añadían después 3 c. c. de sol. de silicato sódico al 1 % (600 g. / t.).

Colector.—5 c. c. de amilxantato potásico al 1 % (1000 g. / t.).

Espumante.—3 gotas de terpineol (224 g. / t.).

Concentrado obtenido.—(Peso en seco) 11 grs.

Análisis del concentrado.—Peso de la muestra: 1,7584 grs:

Cobre determinado por valoración con sol. 0,1 N de $S_2O_3Na_2$ ($f = 0,9091$).

0,75 %

Hierro determinado por valoración con sol. 0,1 N de MnO_4K ($f = 1,050$).

1,16 %

Cobalto y níquel determinados electrolíticamente:

3,29 %

Resumen. =

Exp. número 1

Productos	Peso gr.	Peso %	Análisis %			Rendimiento %		
			Cu	Ni + Co	Fe	Cu	Ni + Co	Fe
Min. de part.	50	—	0,43	2,38	0,79	—	—	—
Concentrados	11	22	0,75	3,29	1,16	38,3	31,2	32,3
Estériles	39	78	—	—	—	—	—	—

Experiencia n.º 2.—Mineral sulfídico de Cabrales.

Análisis del mineral de partida.—Peso de la muestra: 1,2074 gra.

Cobre determinado electrolíticamente: 4,10 %

Hierro determinado por valoración con MnO_4K 0,1 N ($f = 1,050$):

8,36 %

Cobalto y níquel electrolíticamente: 2,75 %

Análisis por tamizado.—Se pulverizan 100 grs. de mineral y se tamizan, obteniendo el siguiente resultado:

N.º tamiz	Lim. inf. de malla	Cifra de finura	Análisis por tamizado		
			Peso	Residuo %	A sumar
140	0,105	61,64 %	12,00	12,00	739,68
140-180	0,085	78,95 »	6,00	6,00	473,70
180-200	0,075	93,75 »	2,00	2,00	187,50
200	—	100,00 »	80,00	80,00	8000,00
			100,00	100,00	9400,88

Grado de finura = 94,00 %

Aparato de flotación utilizado.—Probeta de 500 c. c. y agitador.

Turbio de flotación.—50 gr. de mineral + 152 c. c. de agua.

Se añadían 1 c. c. de sol de CO_3Na_2 al 10 % (2000 g. / t.) + 5 c. c. de amilxantato potásico al 1 % (1000 g / t.). Se dejaba actuar 5 minutos.

Colector.—Amilxantato potásico al 1 %.

Espumante.—3 gotas de terpineol (224 g / t.).

Concentrado obtenido.—(Peso en seco) 12 grs.

Análisis del concentrado.—Peso de la muestra: 1,2234 grs.

Cobre determinado electrolíticamente: 9,26 %

Hierro determinado por valoración con MnO_4K 0,1 N ($f = 1,0368$).

12,01 %

Cobalto y níquel electrolíticamente: 4,28 %

Resumen.==

Exp. número 2

Productos	Peso gr.	Peso %	Análisis %			Rendimiento %		
			Cu	Ni + Co	Fe	Cu	Ni + CO	Fe
Mjn. de part.	50	—	4,10	2,75	8,36	—	—	—
Concentrados	12	24	9,26	4,28	12,01	54,1	37,3	33,4
Estériles	38	76	—	—	—	—	—	—

Experiencia n.º 3.—Mineral sulfídico de Cabrales.

Análisis del mineral de partida.—Peso de la muestra: 1,2786 grs.

Cobre determinado electrolíticamente: 1,30 %

Hierro por valoración con MnO_4K 0,1 N ($F = 1,0368$): 11,13 %

Cobalto y níquel electrolíticamente: 0,77 %

Residuo silicioso: 63,00 %

Análisis por tamizado.—Se pulverizan 98 grs. de mineral y se tamizan, obteniendo el siguiente resultado:

N.º tamiz	Lim. inf de malla	Cifra de finura	Análisis por tamizado		
			Peso	Residuo %	A sumar
140	0,105	61,46 %	8,00	8,16	502,98
140-180	0,085	78,95 »	10,00	10,20	805,29
180-200	0,075	93,75 »	5,00	5,10	478,12
200	—	100,00 »	75,00	76,53	7653,00
			98,00	99,99	9439,39

$$\text{Grado de finura} = \underline{94,39 \%}$$

Aparato de flotación utilizado.—Probeta de 500 c.c. y agitador.

Turbio de flotación.—50 grs. de mineral + 150 c.c. de agua.

Colector.—9 gotas de flotigol C.S. (2034 g. / t.).

Concentrado obtenido.—Peso en seco: 9 grs.

Análisis del concentrado.—Peso de la muestra: 1,3840 grs.

Cobre determinado electrolíticamente: 2,84 %

Hierro por valoración con $\text{MnO}_4\text{K O}_1\text{N}$ ($f = 1,0368$): 18,52 %

Cobalto y níquel electrolíticamente. 1,73 %

Residuo silicioso: 46,50 %

Resumen.==

Exp. número 3

Productos	Peso gr.	Peso %	Análisis %			Rendimiento %		
			Cu	Ni + Co	Fe	Cu	Ni + Co	Fe
Mín. de part.	50	—	1,3	0,77	11,13	—	—	—
Concentrados	9	18	2,84	1,73	18,52	39,23	40,40	29,90
Estériles	39	78	—	—	—	—	—	—

Experiencia n.º 4.—Mineral oxidico de Villamanín.

Análisis del mineral de partida.—Peso de la muestra: 1,9534 grs.

Cobre determinado electrolíticamente: 0,68 %

Hierro por valoración con $\text{MnO}_4\text{K O}_1\text{N}$ ($f = 0,9789$): 1,56 %

Cobalto y níquel electrolíticamente: 2,94 ‰

Níquel como dimetil-glioxima: 0,37 ‰

Cobalto: $2,94 - 0,37 = \underline{2,57}$ ‰

Análisis por tamizado.—No se efectuó.

Aparato de flotación utilizado.—Máquina de flotación de laboratorio.

Turbio de flotación.—300 grs. de mineral + 1500 c.c. de agua.

Se añadían 6 c.c. de sol. de CO_3Na_2 al 10 ‰ (2000 gr. / t.) + 3. / c.c. de SNa_2 al 5 ‰ (500 g. / t.). Se dejaba actuar 30 min. a 70°. Se pasaba a la máquina y entonces se añadían 18 c.c. de $\text{SiO}_2 \text{Na}_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ en sol. al 1 ‰ (600 g. / t.) + 54 gotas de flotigol C.S. (2310 g. / t.).

Concentrado obtenido.—(Peso en seco) 29 grs.

Análisis del concentrado.—Peso de la muestra: 1,0530 grs.

Cobre determinado electrolíticamente: 1,39 ‰

Hierro por valoración con MnO_4K 0,1 N ($f = 0,9789$): 1,78 ‰

Cobalto y níquel electrolíticamente: 4,17 ‰

Níquel como dimetil-glioxima: 0,61 ‰

Cobalto: $4,17 - 0,61 = \underline{3,56}$ ‰

Resumen.==

Exp. número 4

Productos	Peso gr.	Peso ‰	Análisis ‰				Rendimiento ‰			
			Cu	Fe	Co	Ni	Cu	Fe	Co	Ni
Min. de part.	300	—	0,68	1,56	2,57	0,37	—	—	—	—
Concentrados	29	9,66	1,39	1,78	3,56	0,61	19,76	11,03	13,4	15,93
Estériles	271	90,33	—	—	—	—	—	—	—	—

Experiencia n.º 5.—Mineral oxidico de Villamanán.

Análisis del mineral de partida.—El mismo que el de la experiencia anterior (n.º 4).

Análisis por tamizado.—Se pulverizan 300 grs. de mineral y se tamizan, obteniendo los siguientes resultados:

Los reactivos colectores usados por nosotros (amilxantato potásico, y flotigol C. S.) fueron adquiridos a la I. G. Farbenindustrie A. G., Frankfurt am Mein, Alemania.



Los resultados obtenidos demuestran, en todos los casos, un enriquecimiento de los metales útiles de cobre, cobalto y níquel. Los minerales oxídicos (exp. 1, 4 y 5) se sulfuraron siempre con objeto de favorecer sobre todo la flotación del cobre. No obstante Gaudin (7) en su Tratado describe experiencias de flotación directa (sin sulfurar) de minerales oxídicos de cobre con ganga dolomítica, la que molía hasta un grado extremado (muy inferior al del tamiz n.º 200) y hacía flotar con amilxantato potásico. Los minerales de Cabrales se flotaron sin previa sulfuración (exp. números 2 y 3).

Como puede verse el grado de enriquecimiento del cobre, cobalto y níquel es de más del doble, con resultados análogos a otros de flotación industrial del mineral de Villamanín conocidos de nosotros privadamente. No se logra, sin embargo, en las experiencias realizadas hasta ahora, un enriquecimiento en grado y rendimiento análogo al alcanzado en la flotación de otros minerales (galena, olenda, etc.).

Antes de dar, sin embargo, por sentada la imposibilidad de un buen resultado en la flotación de estos minerales, nos proponemos efectuar aún nuevos ensayos que completen el presente estudio.

Sección de Química Aplicada de Oviedo
Laboratorio de Metalurgia

Oviedo, enero 1944

BIBLIOGRAFIA

- (1) Pueden verse los tratados generales siguientes que hemos consultado: W. Luyken y E. Bierbrauer, Die Flotation in Theorie und Praxis. Berlín, 1931, J. S. Springer. — C. Bruchhold, Der Flotationprozess, Berlín, 1927. — W. Petersen, Schwimmautbreitung, Dresden y Leipzig 1937, Th. Steinkopff. También: E. Jimeno y M. D. Astudillo, Anales de Física y Química, 1943.
- (2) A. F. Taggart, T. C. Taylor y R. Ince, Techn. Publ. Amer. Inst. Min. Metallurg. Engrg. Nr. 204 (1929).
- (3) C. G. Mc Lachlan, Eng. Min. J. **120**, 408 (1923).
- (4) E. H. Rose, A new study of grinding efficiency and its relation to flotation practice, Eng. Min. J. **122**, 331 (1926).
- (5) Modificación de C. del Fresno y C. de Villamil (no publicada) de la técnica seguida por J. de Guzmán y colaboradores, Anales de Física y Química.
- (6) Según J. de Guzmán.
- (7) A. M. Gaudin, Flotation, New-York and London (1932).