

CAPITULO I

ENSAYE

Definición. El arte de ensayar comprende todas aquellas operaciones analíticas que en su conjunto tienen por objeto la determinación cuantitativa de los distintos componentes de minerales y de productos metalúrgicos, y particularmente del oro y de la plata. Para llegar a este fin, se dispone de tres métodos generales, los cuales son:

1o. La vía seca o ensaye al horno

2o. el análisis gravimétrico } la vía húmeda

3o. el análisis volumétrico }

En el ensaye al horno se separa el metal que se quiere determinar, de la ganga y de otros componentes del mineral por el calor, empleando al mismo tiempo fundentes apropiados, y se pesa el «regulus» de metal obtenido en estado de mayor o menor pureza.

Los metales preciosos. Oro y plata se determinan en sus minerales o en productos metalúrgicos, colectándolos cuantitativamente en un gran exceso de plomo. Por copelación posterior del «regulus» o botón de plomo se elimina este metal y quedan el oro y la plata sobre la copela en forma de un globulito, el cual se pesa fácilmente.

La cantidad de metales preciosos en un mineral es relativamente muy pequeña; para obtener resultados satisfactorios es preciso emplear una cantidad considerable del material que se ensaya. A esta circunstancia se presta el ensaye con gran facilidad, puesto que se puede obrar sin ningún inconveniente sobre 25 a 50 gr. de mineral en un solo ensaye, y en ciertos casos sobre 100 gr. y más. En los métodos por vía húmeda se acostumbra al contrario trabajar con cantidades muy reducidas de material, generalmente se toma para un análisis 0.5 gr., raramente más de 2 gr.

La cantidad de mineral que se toma para un ensaye depende de la riqueza del material en metales preciosos y puede variar de 2.5 gr. para minerales riquísimos en plata hasta 120 gr. para arenas auríferas pobres.

Término medio se opera sobre 25 hasta 50 gr. de mineral.

CALCULO DE LOS RESULTADOS. MODO DE EXPRESARLOS

Se indica la riqueza de un mineral en metales preciosos en gramos por tonelada de 1.000 kg. o en onzas troy por tonelada de 2.000 libras; es costumbre expresar al mismo tiempo el valor correspondiente en dollars americanos.

1 gramo de oro vale \$ 1.125 oro am.

1 gramo." plata vale \$ 0.01 oro am.

Hay que añadir que el valor de la plata está sujeto a fluctuaciones.

Cálculo. El mineral que se somete al ensaye, se pesa en gramos, mientras que los metales preciosos, que se extraen de él, se pesan en miligramos y fracciones decimales. El cálculo del tenor del mineral en Au y Ag es muy sencillo, como lo demuestra el ejemplo que sigue:

Ejemplo. Cantidad de mineral ensayado: 50 gr.

Se obtuvo: oro 2.54 mgr.

plata 10.60 "

entonces el tenor en oro por tonelada de mineral será:

$$\frac{2.54 \times 1\,000 \times 1\,000}{50 \times 1\,000} = \frac{2.54 \times 1\,000}{50} = 50.8 \text{ gr. Au}$$

para la plata:

$$\frac{10.6 \times 1\,000 \times 1\,000}{50 \times 1\,000} = \frac{10.6 \times 1\,000}{50} = 212 \text{ gr. Ag.}$$

En otros términos:

El tenor del mineral en oro, en gramos por tonelada, se obtiene multiplicando el número de miligramos del metal por 1.000 y dividiendo el producto por el número de gramos de mineral pesados.

$$\frac{\text{Mgr. Au (Ag)} \times 1\,000}{\text{gr. mineral}} = \text{gr. Au (Ag) por tonelada}$$

En la página siguiente se ve la forma del informe o boletín sobre el resultado de un ensaye de un mineral.

Sistema americano. (Assay-ton System). El mineral se pesa en assay-tons y fracciones como $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{10}$ A. T. Oro y plata se pesan en miligramos. Entonces al tomar 1 assay-ton (A. T.) de mineral para el ensaye, 1 mgr. de Au o Ag equivale a una onza troy por tonelada de 2.000 lbs. porque:

1 Tonelada de 2.000 lbs. tiene	29 166	onzas troy
1 assay ton (A. T.)	29.166	miligramos ó
	29,166	gramos

El peso de 29,166 gr. constituye pues la base-tonelada de ensaye o assay-ton y por las relaciones que tienen el miligramo o la assay-ton y la onza troy a la tonelada, se suprime todo cálculo fastidioso.

Ejemplos:

- 1). Pesado: 1 A. T. de mineral
 Extraído 1.44 mgr. Au
 Resultado el mineral contiene:
 1.44 onzas Au por tonelada.
- 2). Pesado: 1/10 A. T. mineral de plata
 Extraído 2.65 mgr. Ag
 Resultado $2.65 \times 10 = 26.5$ onzas Ag por tonelada de mineral.

PRINCIPIOS DE LA FUNDICION. ESCORIAS

Por la fundición de un mineral se entiende la descomposición completa de éste en el calor con la ayuda de fundentes adecuados y formación de una escoria homogénea, fluida.

Como los minerales no tienen todos la misma composición química, es claro que se tienen que escoger los reactivos fundentes según el carácter del material que hay que tratar. Siendo la determinación de Au y Ag objeto de la fundición se necesita además en esta operación un medio colector para estos metales preciosos, el cual se apodera de las partículas de Au y Ag a medida que se liberan del mineral sometido a la fundición. Este colector se produce en la misma mezcla de mineral y fundentes agregándole cierta cantidad de litargirio u óxido de plomo, más un agente reductor que lo reduzca durante la fundición a plomo metálico. Cuando se logra la formación de una escoria limpia, muy fusible a la temperatura del horno, el plomo reducido va acumulándose en el fondo del receptáculo que sirve para la operación, arrastrando consigo oro y plata cuantitativamente, eso por la gran afinidad que tiene el plomo con ellos a altas temperaturas.

La fundición, tal como arriba se describe, en que el colector se obtiene siempre por la reducción de litargirio, se llama fundición de crisol o reductora. Se efectúa en crisoles

de barro refractario.

Más adelante se estudiará el modo de fundir (descomponer) un mineral en un medio oxidante. Es este el método de ensaye por escorificación.

Formación de escorias. La ganga más común en minerales auríferos y argentíferos consiste en cuarzo, pero también son frecuentes los minerales que contienen: óxido de hierro, cobre, manganeso, carbonatos de calcio, bario, plomo, zinc, silicatos y sulfuros de los mismos metales, sulfuros de arsénico, antimonio y telururos.

En la fundición de cualquier mineral se trata sencillamente de escorificar estos diversos componentes, mediante formación de un silicato o borosilicato alcalino muy fusible, el cual disuelve los óxidos metálicos en forma de silicatos (borosilicatos) complejos. El producto final de la fundición es una escoria compuesta de silicatos y boratos de los alcalinos y de las bases pesadas (FeO , PbO , CaO , ZnO , MnO) muy fusible. Aunque homogénea de aspecto, es raramente un compuesto químico, pero en general es una solución sólida compleja.

Clasificación de los silicatos. El ácido silícico, SiO_2 , tiene la propiedad de formar con los óxidos metálicos distintos silicatos, en los cuales puede variar dentro de ciertos límites la proporción de base y ácido. Los silicatos se clasifican convenientemente según el número de átomos de oxígeno que se encuentran ligados del lado básico, de una parte, y del lado ácido, de la otra. Con igual número de átomos de oxígeno de ambos lados el silicato es un monosilicato; un subsilicato tiene exceso de base; los sesqui, bi y tri silicatos contienen exceso de SiO_2 .

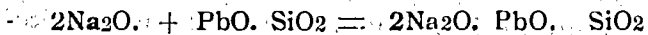
Esta nomenclatura no es estrictamente científica, pero es de uso general para fines metalúrgicos.

FORMULA, RO base	Nombre del silicato	FORMULA R ₂ O ₃ base
4RO. SiO ₂	Subsilicato	4R ₂ O ₃ 3SiO ₂
2RO. SiO ₂	monosilicato	2R ₂ O ₃ 3SiO ₂
4RO. 3SiO ₂	sesquisilicato	4R ₂ O ₃ 9SiO ₂
RO. SiO ₂	bisilicato	R ₂ O ₃ 3SiO ₂
2RO. 3SiO ₂	trisilicato	2R ₂ O ₃ 9SiO ₂

EJEMPLOS:

4PbO. SiO ₂	= subsilicato de plomo	2 : 1
2FeO. SiO ₂	= monosilicato ferroso	1 : 1
4FeO. 3SiO ₂	= sesquisilicato ferroso	2 : 3
Na ₂ O. SiO ₂	= bisilicato de sodio	1 : 2
2Na ₂ O. 3SiO ₂	= trisilicato de sodio	1 : 3
4Fe ₂ O ₃ . 3SiO ₂	= subsilicato férrico	2 : 1

Silicatos mixtos Se toma para el estudio del caso el monosilicato de plomo 2PbO. SiO₂. Este en el estado fundido es capaz de disolver más PbO formándose un subsilicato de plomo, o también más sílice, lo que tiene por resultado la formación de un bi hasta un trisilicato. Si se funde el monosilicato de plomo con otro óxido metálico, por ejemplo Na₂O, el resultado de la combinación es un subsilicato mixto de plomo y sodio.



subsilicato de Pb y Na.

Se ve que el número de silicatos posibles es muy grande. Todos en el estado líquido son solubles entre ellos, y dan al solidificarse mezclas amorfas de apariencia de vidrio. Son soluciones sólidas.

Los silicatos alcalinos, los de plomo, son muy fusibles; los de hierro, manganeso y cobre, bastante fusibles, mientras que Al₂O₃, CaO, MgO forman silicatos de punto de fusión muy alto. Al fundir silicatos de distintos metales juntos, el

punto de fusión de la mezcla es generalmente más bajo que el de cada uno de los componentes. (Mezclas eutécticas).

En la fundición de minerales para ensaye la composición de las escorias es la de un mono, hasta sesquisilicato, raramente se va hasta el bisilicato.

Ejemplos:

Na_2O . FeO . SiO_2 monosilicato

PbO . FeO . SiO_2 "

$3\text{Na}_2\text{O}$. FeO . 3SiO_2 sesquisilicato

$2\text{Na}_2\text{O}$. PbO . FeO . 3SiO_2 "

Na_2O . CaO . PbO . 2SiO_2 mono-sesquisilicato.

Al reemplazar una parte del ácido silícico en la composición de las escorias por el ácido bórico, se puede bajar todavía más el punto de fusión de ellas. Se forman borosilicatos.

Como la composición de las escorias de ensaye de fundición debe ser prácticamente la misma en todos los casos, una vez conocido el carácter del mineral se añaden fundentes ácidos o básicos para producir una escoria de carácter determinado.

En la práctica no sería posible averiguar la composición química de un mineral cada vez que se hace un ensaye para oro y plata. Por ésto el ensayador debe tener bastantes conocimientos de mineralogía, para poder juzgar a simple vista el carácter del mineral y escoger entonces los fundentes apropiados para la obtención de escoria de buena clase.

Según el carácter químico de los minerales se dividen en tres grupos principales, a saber:

- 1). Minerales ácidos — con ganga cuarzosa, con pocos óxidos o sin ellos y con sulfuros metálicos.

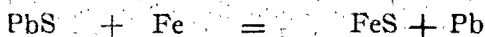
2). Minerales básicos — predominan en la ganga óxidos o carbonatos de Fe, Mn, Ca, Mg, Cu, Zn, Pb.

3). Minerales sulfuro- —
sos o refractarios — contienen un porcentaje alto en sulfuros de los metales pesados. Además As, Sb, Se, Te en diversas formas.

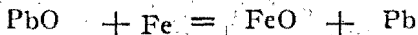
Al someter un mineral refractario a la fundición en presencia de fundentes básicos y ácidos, comunmente empleados, se ve que no se puede obtener una descomposición completa del mineral, debido a la gran afinidad que tienen el azufre y el arsénico por los metales pesados a alta temperatura y en un medio reductor. Se forman, además de la escoria y del plomo, mates, y en presencia de As speises, sulfuros y arseniuros artificiales, los cuales son también colectores para los metales preciosos.

Minerales refractarios exigen antes de la fundición una tostión a muerte. En esta operación se cambian los sulfuros metálicos en óxidos, y se volatilizan As y Sb. El mineral tostado se trata ahora como mineral oxidado y se funde con flujos ácidos.

Como la tostión de un mineral es una operación laboriosa y muy lenta, se han introducido en la práctica métodos que permiten también la fundición directa de minerales sulfurados. En estos casos se emplea el hierro metálico como agente desulfurador. La acción del hierro se explica por las siguientes reacciones químicas:

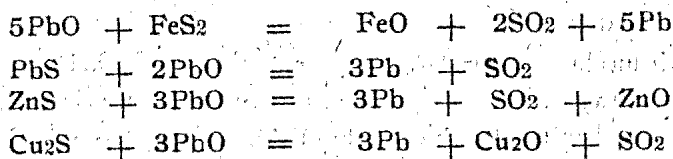


Al mismo tiempo el Fe metálico reduce el litargirio presente a plomo metálico, de modo que no es preciso añadir agente reductor a la mezcla.



El hierro se añade en forma de clavos. El método da buenos resultados, cuando el mineral no contiene mucho arsénico; en el caso contrario se forma fácilmente Speise FeAs₂, el cual es, como ya se sabe, colector de Au y Ag. La escoria de la fundición con clavos sale de color negro lustroso por el alto tenor en FeS. Es esencial emplear un gran exceso de Na₂CO₃ como fundente, el cual sirve de solvente para el FeS.

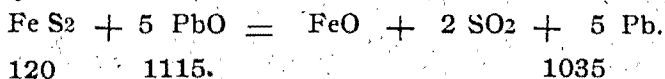
La fundición de minerales en el crisol es, en su carácter químico, esencialmente reductora, porque se trata siempre de reducir cierta cantidad de litargirio a plomo metálico, colector de los metales preciosos. Sin embargo se tiene el medio de crear durante la fundición un ambiente oxidante empleando un gran exceso de litargirio. El agente reductor se añade en forma de carbón de leña, de substancias orgánicas, como argol, azúcar, harina, carbón de piedra. Como se ha visto, también el hierro puede reemplazar los reductores mencionados, y en muchos casos el mismo mineral tiene poder reductor, por su contenido en sulfuros metálicos. Estos últimos reaccionan enérgicamente sobre el óxido de plomo.



Minerales con pequeña cantidad de sulfuros se pueden fundir directamente sin reductor y sin formación de mate, a condición de que haya bastante litargirio presente para oxidar todo el azufre contenido. Pero cálculos hechos tomando como base las ecuaciones arriba expuestas, demuestran que el poder reductor de los sulfuros es muy grande y por consiguiente, poca cantidad de ellos en un mineral basta para acabar con el litargirio presente en el flujo. Entonces el exceso de S fundiría a mate, a menos que se agregue hie-

rro metálico, el cual se adueña del exceso de S pasando con él a la escoria en forma de FeS.

Se ilustra ésto con el siguiente ejemplo, según la ecuación ya mencionada arriba:



120 partes de Fe S₂ reducen 1035 de plomo, o una parte Fe S₂ tiene poder reductor igual a 8.62 gr. de plomo. En otras palabras por cada gramo de pirita presente, hay que añadir 9.29 gr. de litargirio para oxidar el azufre e impedir formación de mate.

Cuando la cantidad de pirita en el mineral que se pesa no pasa de 2 a 3 gr. la fundición directa se puede aplicar con buen éxito, y el botón de plomo tendrá de 30 a 40 gr. Pero con cantidades más elevadas de sulfuros, es evidente que se necesita un gran exceso de litargirio, que en la fundición es reducido íntegramente a plomo metálico, el cual necesita ser copelado. Ahora por razones prácticas, no es muy deseable copelar botones de más de 30 gramos, siendo más recomendable emplear la fundición con clavos, cuando el porcentaje de sulfuros en un mineral parece ser considerable.
