

T
6692
R63

*Apuntes sobre ensayos
para oro y plata*

TESIS

Gustavo Rodríguez Ospina

UNAL-Medellín



6 4000 00047351 5

M. ESCOBAR A.

IA DE CALI:
6A. No. 1223

DIPL. ING.
CALI - COLOMBIA

POR TELEGRAFO:
INGENIERO ESCOBAR

DIPLOMAS DE INGENIERO CIVIL E INGENIERO DE MINAS
DE LA ESCUELA NACIONAL DE MEDELLIN
ESTUDIOS DE ESPECIALIZACION Y VARIOS AÑOS DE PRACTICA
EN ALEMANIA Y OTROS PAISES EUROPEOS

D 6961 ✓

Cali, Octubre 28 de 1937.

Señor Rector y demás Miembros
Del Consejo Directivo de la
Escuela Nacional de Minas.
Medellín.



El señor Ingeniero don Gustavo Rodríguez O. ha tenido la deferencia de proponerme como su presidente de tesis para optar el título de Ingeniero Civil y de Minas que la Escuela concede. Aceptado mi nombre por parte del Consejo Directivo muy gustosamente correspondo al honor que se me hace.

He estudiado el trabajo presentado por el señor Rodríguez, denominado "APUNTES SOBRE ENSAYES PARA ORO Y PLATA" y encuentro en él una reseña que sólo puede ser elaborada por un verdadero experto, por un elemento que, como Rodríguez, esté ya desde hace varios años al frente de un laboratorio de fundición y ensayos resolviendo los distintos problemas que a cada momento se presentan en esta clase de actividades.

Nítida y claramente están expuestas en este trabajo cada una de las operaciones que debe ejecutar el ingeniero que esté frente a la explotación de una mina aurífera para ejercer la debida inspección en la extracción del mineral y lograr la regularidad en los producidos o remesas. Sin faltar nada de lo indispensable, Rodríguez presenta un estudio libre de superfluidades digno de ser publicado; ojalá la Asociación Colombiana de Mineros llenara con él uno de los capítulos del Manual Práctico que se propone publicar.

En vista de lo anterior, y teniendo en cuenta que el señor Rodríguez Ospina ha cumplido todos los requisitos que exige la Escuela, muy respetuosamente me permito proponer se le conceda el título de Ingeniero Civil y de Minas.

Muy atentamente,
ESTATUTOS UNIVERSIDAD NACIONAL

"Art. 200 - El Presidente de Tesis, el Consejo de Jueces de Tesis y el Consejo Examinador: NO son responsables de las ideas emitidas por el Candidato"
Ing. C. y de M.

7
669.2
R63

APUNTES SOBRE ENSAYES
PARA ORO Y PLATA

Tesis presentada por
Gustavo Rodríguez O
para optar el título
de Ingeniero Civil y
de Minas.

1)-ENSAYE - Definición. Por ensaye se entiende el conjunto de operaciones analíticas que tiene por objeto la determinación cuantitativa de los metales, y es término que se emplea principalmente para oro (Au) y plata (Ag).

Para llegar a dicho objeto disponemos hoy de dos métodos como son el de la vía seca y el de la vía húmeda, pero en estos apuntes me dedicaré tan sólo al primero que se basa en que los metales preciosos se separan de los minerales que los contienen colectándolos en un exceso de plomo (Pb); este último metal es luego fácilmente eliminable por copelación y posteriormente puede separarse la plata por disolución en ácido nítrico, quedando como residuo el oro puro.

2)- MUESTRAS - La manera de tomar y promediar lo que va a ser materia de análisis es asunto de suma importancia toda vez que de ahí estriba el significado del ensaye mismo; no quiero entrar a detallar aquí la forma de ejecutar dicho trabajo, que por otra parte está suficientemente explicado en artículos escritos por Dn. Jesús Escovar A y que la revista "Minería" y la cartilla minera se han encargado de hacer conocer entre nosotros, sino tan sólo resaltar una vez más la importancia que efectivamente tiene el asunto y que muchos no le conceden. En todo caso, la muestra que va a ser analizada tiene que ser un verdadero promedio del filón, depósito de arenas etc. para que las operaciones que con ella se ejecuten den por resultado la riqueza de los mismos y pueda saberse, al menos con mucha aproximación, el beneficio que ha de obtenerse mediante un tratamiento cuyo costo es posible prever con relativa exactitud.

3)- FUNDICION - Por fundición de un mineral se entiende la descomposición completa del mismo al ser sometido al calor con adición de cuerpos especiales que tienen por objeto formar una escoria homogénea y fluida; siendo el oro y la plata los metales que han de obtenerse en la operación, es preciso que el litargirio (PbO) sea uno de esos cuerpos y que haya también un agente que se encargue de efectuar la reducción a plomo

ESTATUTOS UNIVERSIDAD NACIONAL

"Art. 200 - El Presidente de Tesis, el Consejo

Jueces de Tesis y el Consejo Examinador NO

6961

metálico, el cual obrará como colector e irá apoderándose de las partículas de metales preciosos a medida que se libertan del mineral. Cuando se logra la formación de una escoria limpia y muy fusible a la temperatura del horno, el plomo reducido va acumulándose en el fondo del crisol y arrastra consigo todo el oro y la plata existentes debido a la gran afinidad que para ellos tiene a temperaturas altas.

Una fundición como la descrita, en la que el colector se obtiene por reducción del litargirio, se llama fundición de crisol o fundición reductora y se efectúa en crisoles de arcilla refractaria; estos elementos se fabrican ya entre nosotros pero sin que se haya logrado aun igualarlos a los extranjeros y los hay en distintas formas y tamaños, siendo muy apropiados los de 15 o 16 centímetros de altura para ensayos sobre 50 gramos de mineral que es lo empleado generalmente.

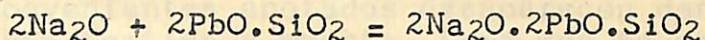
4)- ESCORIAS - La ganga más común en los minerales auríferos y argentíferos es el cuarzo (SiO_2) pero son también frecuentes minerales que contienen óxidos de Fe, Cu, Mn y Zn, carbonatos de Ca, Ba y Pb, silicatos y sulfuros de los mismos metales y también de As, Sb etc. Por fundición de un mineral cualquiera estos diversos componentes se convierten en borosilicatos complejos que a su vez son disueltos por un silicato o borosilicato alcalino muy fusible, siendo el producto final una escoria compuesta de silicatos y boratos de los alcalinos y de las bases pesadas (FeO , PbO , CaO , ZnO , MnO) que aunque de aspecto homogéneo no es propiamente un compuesto químico sino más bien una solución compleja sólida.

La sílice tiene la propiedad de formar distintos silicatos con los óxidos metálicos, en los cuales la proporción de base y ácido puede variar dentro de ciertos límites. La clasificación de dichos silicatos se hace de acuerdo con el número de átomos de oxígeno que se encuentran ligados tanto en el lado básico como en el ácido y así tenemos, por ejemplo, que con igual número en uno y otro lado será un monosilicato, que si hay exceso de base se trata de un subsilicato y que los sesqui, bi y trisilicatos contienen exceso de SiO_2 .

$4\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$	= subsilicato de plomo	.....	2 : 1
$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	= monosilicato ferroso	.....	1 : 1
$4\text{FeO} \cdot 3\text{SiO}_2$	= sesquisilicato	.....	2 : 3
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	= bisilicato de sodio	.....	1 : 2
$2\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$	= trisilicato	.....	1 : 3
$4\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	= subsilicato férrico	.....	2 : 1

Silicatos mixtos - Tomando como ejemplo el monosilicato de plomo ($2\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$) vemos que en estado fundido es

capaz de disolver más PbO con formación de subsilicato del mismo metal, pero sucede que también puede disolver una mayor cantidad de SiO₂ por lo cual el resultado final podrá ser de un bi a un trisilicato. Ahora bien, si se funde ese mismo monosilicato de plomo con un óxido de otro metal, que para el caso podemos suponer Na₂O, esta combinación producirá un subsilicato mixto de Pb y Na.



Con esto se ve claramente que el número de silicatos posibles en una escoria es sumamente grande, ya que todos en el estado fundido son solubles entre sí y dan al solidificarse mezclas amorfas con apariencia de vidrio. Entre los silicatos hay algunos con punto de fusión muy alto, tales como los de Al y Mg, pero existe la ventaja de que al fundirlos con silicatos de otros metales el punto de fusión de la mezcla es generalmente más bajo que el de cada uno de sus componentes, siendo éstas las llamadas mezclas eutécticas.

Reemplazando parte del ácido silícico por hórico hay formación de un borosilicato y el punto de fusión se rebaja aun más.

5)- CARACTER DE LOS MINERALES - Es lógico pensar que para obtener una buena escoria es preciso conocer los componentes del mineral que va a tratarse y por tanto paso a hacer un estudio somero de ellos.

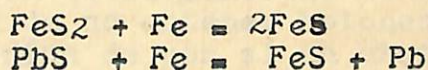
Distinguimos tres grandes grupos a saber:

- a)- Minerales ácidos - Con ganga cuarzosa y sin óxidos ni sulfuros metálicos en cantidad apreciable.
- b)- Minerales básicos - Óxidos o carbonatos de Fe, Cu, Pb, Zn, Ca, Mg etc. como ganga predominante.
- c) - Minerales refractarios - Con altos porcentajes de sulfuros de metales pesados y en muchos casos también As, Sb y Te en diversas formas.

Hemos visto ya que en términos generales las dos primeras de estas clases no nos ofrecen problema mayor pues nos bastará esoger los fundentes como para formar una escoria del tipo bisilicato pudiendo llegar hasta el trisilicato, y que añadiendo bórax a la mezcla obtenemos borosilicatos que se prestarán todavía mejor a nuestras necesidades.

No sucede lo mismo con los minerales refractarios puesto que el S y el As tienen gran afinidad por los metales pesados, a temperaturas altas y en un medio reductor, formándose además de la escoria y el plomo mates que obran como colectores de dichos metales; en presencia de As pueden también aparecer "speises" que son sulfuros y arseniuros artificiales que actúan en igual sentido.

Los inconvenientes anotados desaparecen dando a estos minerales una tostión a muerte, tema que se explicará con amplitud más adelante, por la cual los sulfuros metálicos se convierten en óxidos con volatilización de As y Sb, pudiendo por tanto ser tratados luego con flujos ácidos. Con todo, la tostión a muerte es operación laboriosa y para evitarla se ha introducido en la práctica la desulfuración por el hierro que permite la fundición directa de minerales sulfurados y que se explica con las ecuaciones siguientes:

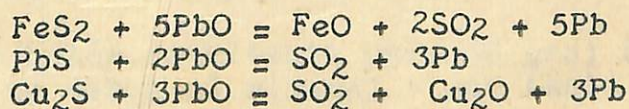


El hierro metálico reduce también el litargirio evitando el tener que añadir a la mezcla agente reductor.

Lo usual es agregar el Fe en forma de clavos pero el método falla si el mineral contiene cantidad grande de As pues fácilmente se presenta la formación de "speise" (FeS_2) que, como ya se dijo, obra como colector para Au y Ag. La escoria de esta fundición con clavos resulta de color negro lustroso debido a la mucha cantidad de FeS que contiene y debe poseer gran exceso de Na_2CO_3 para que todo el sulfuro de hierro que se forma alcance a disolverse.

Si la cantidad de sulfuro no es muy grande puede efectuarse la fundición directa añadiendo suficiente litargirio como para oxidar todo el S, pero hay el inconveniente de que el poder reductor de los sulfuros es muy elevado y se corre por tanto el peligro de que quede S y forme mate, aun cuando es verdad que eso podría evitarse provocando la formación de FeS mediante la adición de Fe metálico.

Para dar una idea del alto poder reductor de los sulfuros basta ver unas cuantas ecuaciones:



El nitro permite también la fundición directa de los minerales sulfurados porque oxida el S sobrante

Determinación del poder reductor - Puede ser hallado con relativa facilidad fundiendo 1 gramo de la substancia

que se estudia con 50 grs. de PbO , 20 grs de Na_2CO_3 y un poco de bórax a una temperatura moderada; la pesada del botón de plomo que resulta al vaciar la carga del crisol en una rielera o cono metálico dá directamente su valor.

Las cifras siguientes son el resultado de varios trabajos efectuados por mí en la ciudad de Cali:

			Promedio
Carbón de leña	24,8	.... 24,6	.... 24,7
Hulla (de Siloé)	19,7	.... 20,5	.... 20,1
Azúcar	13,8	.... 13,2	.... 13,5
Almidón	12,0	.... 11,6	.... 11,8

De igual manera a como se procedió para sacar estos valores puede hallarse también el poder reductor de los varios minerales; es preciso sin embargo tener en cuenta el mayor o menor porcentaje de sulfuros que posean y variar de acuerdo con él la cantidad de mineral que se toma, con el objeto de no obtener botones de plomo demasiado grandes que serían de por sí un obstáculo para las operaciones subsiguientes.

Clasificación del mineral - Para saber si un mineral es reductor, oxidante o neutro basta fundir en un crisol la siguiente mezcla:

Mineral	10	grs.
Litargirio (PbO)	50	"
Soda (Na_2CO_3)	15	"
Carbón de leña (C)	1	"
Bórax ($Na_2B_4O_7$) hasta cubrir la mezcla		

Conociendo de antemano el poder reductor del C, digamos que sea 25, pueden suceder tres casos:

a)- El resultado de la fundición es un botón de plomo que pesa 25 grs; esa cantidad corresponde exactamente al Pb que debió reducir el C y por consiguiente el mineral es neutro.

b)- Obtenemos un botón de 20 grs; salta a la vista que faltan 5 grs de los 25 que proporcionó el C y esa cantidad tuvo que ser oxidada por el mineral, luego su poder oxidante será $5/10 = 1/2$.

c)- El botón resultante pesa 35 grs; de esta cantidad 10 grs se deben al mineral y por tanto su poder reductor es $10/10 = 1$.

6)- DETERMINACION DEL CARBON - Es interesante toda vez que es él quien nos regula el peso del botón que ha de obtenerse de la fundición; veamos el caso para un mi-

neral oxidante o sea correspondiente al grupo b) de nuestro ejemplo como para trabajar con 60 grs; vimos ya que su poder oxidante es $1/2$ y por consiguiente los 60 grs. oxidarán 30 de Pb y como hemos supuesto que el poder reductor del C es 25 es lógico que necesitemos $30/25 = 1,2$ grs. de carbón para neutralizar la acción del mineral; por otra parte, 1 gr. de carbón será suficiente para darnos el botón de 25 grs de Pb que deseamos obtener, luego el total de reductor que hemos de añadir es de 2,2 gramos.

De igual manera podríamos determinar la cantidad de nitro, con 4 como poder oxidante, que sería preciso añadir en la fundición de un mineral refractario para obtener un botón de peso adecuado.

7)- DISTINTOS FLUJOS - Hemos visto ya que los componentes de la mezcla varían de conformidad con las características del mineral, pasemos ahora a detallar la cantidad de cada uno de los fundentes que es necesaria en los distintos casos.

a)- Mineral ácido sin óxidos ni sulfuros en cantidad apreciable, es decir SiO_2 .

La escoria deberá tener la composición $\text{Na}_2\text{O.PbO.SiO}_2$ o sea monosilicato de Pb y Na, y nuestro interés se reduce a buscar las proporciones de sus distintos componentes. Los pesos moleculares son: PbO 223, Na_2O 62 y SiO_2 60; si deseamos tratar 25 gramos de este mineral nos basta hacer un razonamiento sencillo:

Para PbO $60:223 = 25:X$, luego $X=93,0$ grs PbO
" Na_2O $60:62 = 25:X$, " $X=25,8$ " Na_2O

o sean 44,1 grs Na_2CO_3 .

Necesitamos también PbO que nos dé un botón de 25 grs. de plomo y el reductor correspondiente; siendo 207 el peso molecular del Pb tenemos:

$207:223 = 25:X$ y por tanto $X = 27$ grs PbO

Un gramo de carbón será suficiente para reducir los 25 de plomo, y entonces la composición total de la mezcla será:

Mineral cuarzoso	25	grs.
Litargirio	120	"
Carbonato de sodio	44	"
Carbón de leña	1	"

No obstante, la práctica muestra que no es aconsejable emplear un fundente tan rico en litargirio y resul-

ta preferible aumentar un poco la cantidad de carbonato y disminuir aquel, con lo cual se obtiene una escoria más pobre en plomo que puede clasificarse entre mono y sesquisilicato.

La mezcla siguiente, tratándose de minerales eminentemente cuarzosos, dá en la práctica muy buenos efectos:

Mineral	25	grs.
Litargirio	40	"
Carbonato de sodio	30	"
Bórax	10	"
Carbón de leña	1	"

El bórax ayuda a dar una mayor fluidez a la escoria.

b)- El flujo para un mineral básico puede calcularse de una manera semejante, pero me limitaré a expresar una buena composición ya que no tengo intención de alargar innecesariamente estos apuntes.

Mineral	25	grs.
Litargirio	40	"
Carbonato de sodio	25	"
Bórax	15	"
Carbón de leña	2	"

La cantidad de bórax deberá aumentarse a mayor basicidad del mineral.

c)- Para minerales muy piritosos, como sucede por ejemplo con las jaguas, se puede recurrir a la fundición con clavos a que ya se hizo mención y bajo las siguientes proporciones:

Mineral (Jaguas)	25	grs.
Litargirio	30	"
Carbonato de sodio	50	"
Bórax	25	"
Carbón de leña	1	"
Hierro (Clavos)	2 o 3	de 3".

8)- COPELACION - Es operación de las más importantes en esta clase de trabajos y que se ejecuta en la mufla calentada a una temperatura aproximada de 900°. El plomo fundido forma con la corriente de aire que entra por su puerta PbO que se volatiliza en parte pero del cual la mayor cantidad es absorbido por la masa de la copela en que va colocado el botón.

Se considera terminada una vez desaparece todo el plomo presente; mientras hay oxidación de este

metal da a la vista la impresión de que girara toda la masa pero a medida que se va terminando ese movimiento se acentúa, el glóbulo aumenta de brillo, muestra los colores del arco iris y queda luego inmóvil y de lustre metálico; a este fenómeno se le conoce con el nombre de relámpago e indica el final de la operación.

9)- ESCORIFICACION - Es un procedimiento sencillo y que se presta para ser ejecutado con minerales muy ricos tales como concentrados, minerales argentíferos y mates, pero al cual el ensayador debe tenerle cierto recelo. Consiste en una fusión oxidante del mineral con plomo metálico granulado que se lleva a efecto en la mufla.

La mezcla del mineral y el plomo se hace en unos plasticos pandos de arcilla refractaria, que no permiten por razón de su tamaño trabajar con cantidades de mineral mayores de 5 grs, y que se conocen con el nombre de escorificadoras; en ellas se coloca el mineral, revuelto de antemano con unos 20 grs. de plomo, se recubre luego esa carga con 15 o 20 grs más del mismo metal y se le añade más o menos un gramo de bórax llevando luego la escorificadora al interior de la mufla que debe estar calentada al rojo vivo.

Abriendo después de unos minutos la puerta de la mufla la corriente de aire que por ella pasa oxida el mineral libertando los metales preciosos, a la vez que oxida también el plomo formando litargirio que actúa como disolvente de la ganga y los óxidos metálicos del mineral; cuando la escoria homogénea y muy fusible que se forma llega hasta cubrir totalmente el plomo metálico, la operación se considera terminada y se procede a vaciar el contenido de la escorificadora en una horma, para continuar luego el trabajo con el botón de una manera idéntica a como se tratan los obtenidos por fundición y que se verá más adelante.

10)- TOSTION A MUERTE - Es aconsejable al tratar con minerales muy ricos en As o sulfuros pobres en metales preciosos, ya que el método de los clavos deja de ser eficiente desde el momento mismo en que haya que añadir a la mezcla cantidades mayores de 25 o 30 grs de hierro.

Esta operación se efectúa en la mufla calentada al rojo y en ella la corriente de aire oxida los sulfuros de Fe, Cu, Pb, Zn a sus respectivos óxidos formándose también a temperaturas bajas algunos sulfuros que al aumentar esta se descomponen nuevamente; As y Sb se volatilizan en forma de As_2O_3 y Sb_2O_3 pudiendo también presentarse formación de pequeñas cantidades de arseniatos y antimoniatos que al añadir un poco de carbón al final

de la operación se reducen a sesquióxidos también volátiles.

La tostadora que contiene el mineral debe colocarse inicialmente en la puerta de la mufla y ser empujada poco a poco hacia el fondo a medida que la operación prospera, con el objeto de evitar una posible fusión a mate de parte de la carga por descomposición del FeS_2 a FeS ; para evitar la compactación del mineral y asegurar a la vez el acceso del aire a todas y cada una de las partículas de la masa debe revolverse continuamente con una varilla de hierro.

El mineral así tratado puede fundirse luego con un flujo básico; es de advertir que es preciso pesar cuidadosamente la cantidad de mineral que entra a la operación y separarla cuantitativamente de la tostadora para no perder la base y poder expresar la riqueza en Au y Ag por tonelada métrica de material inicial, como es de rigor en las boletas de ensaye.

11)- CONOCIMIENTO DE LOS FUNDENTES - Aun cuando son todos muy comunes quizá no esté por demás hacer un recuento ligero de aquellos que se emplean con mayor frecuencia en esta clase de trabajos.

Fundentes ácidos:

Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)- Tetraborato de sodio. Posée un exceso de ácido bórico que en el estado fundido obra activamente como disolvente de los óxidos metálicos y se combina con los silicatos formando borosilicatos muy fusibles. Entra en casi todas las mezclas pero tiene su principal aplicación en la fundición de minerales básicos. No debe emplearse sino calcinado pues el cristalizado que se encuentra en el comercio tiene hasta un 50 por ciento de agua.

Sílice (SiO_2) - Se añade en forma de arena muy bien lavada a aquellos minerales que carecen de componentes ácidos y es elemento muy útil para la obtención de buenas escorias.

Fundentes básicos:

Litargirio (PbO) - Es el encargado de proporcionar el Pb que ha de obrar como colector de Au y Ag y además ayuda poderosamente en la descomposición del mineral y formación de buenas escorias debido a la gran afinidad que por la sílice tiene en el estado fundido. Los silicatos de plomo se caracterizan por su fluidez y bajo punto de fusión. Es un polvo de color rosado fuerte.

Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) - Polvo blanco cristalino que al ser fundido con sílice o silicatos de otros metales da silicatos de sodio. Debe diferenciarse del bicarbonato de sodio (NaHCO_3) pues este es muchísimo menos eficiente que aquel a causa de poseer menos base por unidad de peso, hasta el punto de que es preciso emplear casi el doble para obtener los mismos efectos; por otra parte el bicarbonato obliga una expulsión de vapor de agua que no es conveniente para la operación.

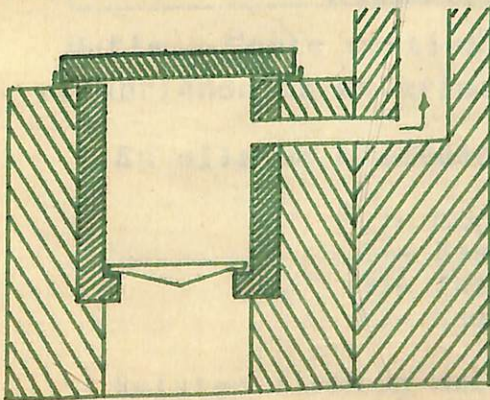
Otros reactivos:

Plomo granulado - Debe carecer totalmente de Au y Ag toda vez que tiene su uso en el ensaye por escoriación en donde, como se vio ya, obra como colector de ellos a la vez que forma litargirio y ayuda a la descomposición del mineral.

Nitro (KNO_3) - Se emplea como oxidante en la fundición de minerales sulfurosos, siendo fácil determinar la cantidad que debe añadirse una vez conocido el poder reductor del mineral que se trata.

Es lógico que unos y otros fundentes deban carecer en absoluto de oro y plata, pues si así no fuera los resultados obtenidos estarían en desacuerdo con la realidad de las cosas y constituirían un peligro para el interesado; de aquí la necesidad de efectuar una completa separación en aquellos puntos en donde existen a la vez fundición o tratamiento de metales y laboratorio de ensayes, separación que tiene que ser absoluta pues las muestras podrían salarse con una partícula que, por pequeña que fuera, influiría enormemente en los resultados ya que se trabaja con cantidades relativamente pequeñas de mineral.

12)- HORNOS Y ACCESORIOS - Aun cuando son de todos bien conocidos doy a continuación una explicación somera de su forma y manera de trabajar.



Horno - Corte vertical

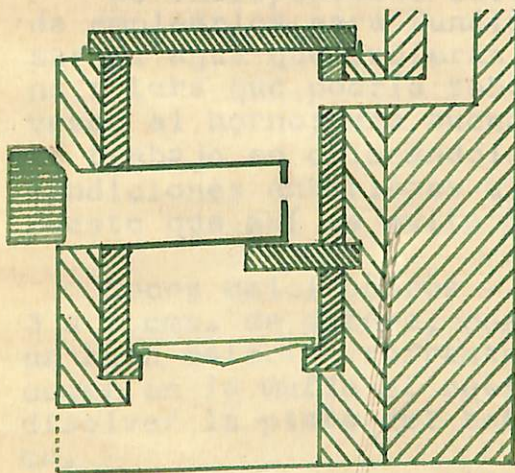
Horno de fundición - Su tamaño puede variar con las necesidades pero una empresa minera no requerirá, por regla general, sino uno de base rectangular de 30 x 40 cms y más o menos 40 cms de altura sobre el emparrillado; se construyen de ladrillo común con revestimiento interior de material refractario y a fin de darles mayor duración es aconsejable forrarlos exteriormente en lámina

metálica o al menos ponerles unas anclas de hierro. Un baño con cemento refractario a aquellas de sus caras que van a estar en contacto directo con el combustible resulta en la práctica muy provechoso y alarga considerablemente la vida del mismo.

Estos hornos se comunican con una chimenea, que puede ser de ladrillo o metálica, mediante un orificio de 12 x 8 cms abierto en una de sus caras a más o menos 10 cms de su nivel superior. Se construyen directamente sobre el suelo y emplean coke como combustible pudiendo reemplazarlo por carbón de leña en aquellas partes en donde no lo hubiere o resultare muy caro.

Están provistos de una tapa que también es aconsejable construir de material refractario y que debe correr con facilidad, siendo para ello muy conveniente fijar en el bloque mismo del horno dos trozos de hierro en ángulo que la encausen y eviten esfuerzos inútiles al operador, lo que se traduce en una mayor duración para la construcción puesto que disminuye las fricciones.

Horno de mufla - Se conoce simplemente con el nombre de mufla y se distingue del anterior en que lleva



enclavado a mitad de su altura un recipiente de sección semicircular construido de arcilla refractaria; este dispositivo hace que la carga colocada en su interior no reciba directamente el calor producido por el combustible, y con él pueden obtenerse temperaturas hasta de 1.200°.

Mufla - Corte vertical
recubriéndolas exteriormente con lámina de hierro.

Para mayor comodidad del operario deben colocarse altas y, al igual que los hornos de fundición, adquieren mayor durabilidad

En ella se efectúan las siguientes operaciones:

- 1)- Copelación
- 2)- Escorificación
- 3)- Tostión
- 4)- Calcinación del oro puro.

Existen también muflas de gran tamaño que permi-

ten la fundición de minerales en crisoles especiales de poca altura, procedimiento muy en uso hoy en los grandes establecimientos metalúrgicos del exterior, y ventajoso pues evita al ensayador el tener que colocar el crisol en medio de los fragmentos de coke en plena combustión.

Las eléctricas prestan muy buen servicio donde se trabaja en grande escala y tienen la comodidad de no requerir chimenea grande por la sencilla razón de no necesitar tiro. Hay también muflas portátiles ventajosas para los trabajos de campo debido a que pueden descomponerse en piezas de poco volúmen, pero no entro a describirlas aquí por ser en principio enteramente iguales a las fijas y haberme propuesto tratar todo a base de un montaje pequeño y estable.

Crisoles - Se fabrican de todos los tamaños y de un material muy refractario libre de hierro, calcio etc; uno de ellos puede servir para varias operaciones siempre y cuando que se le dé un buen manejo y es conveniente hacer notar que los flujos muy básicos son los que más acortan su vida por el hecho de que corroen sus paredes.

Es indispensable calentarlos a fuego lento antes de emplearlos para fundición, con el objeto de expulsar el agua que pudieran haber absorbido y evitar una rotura que podría sobrevenir si de una vez se llevasen al horno; una buena manera de llevar a cabo este trabajo es colocándolos en el cenicero durante las fundiciones anteriores a aquella en que van a usarse puesto que así se evita consumo de combustible.

Cocos calcinadores - Son crisolitos pequeños de 3 a 5 cms. de altura, construídos como los grandes de un buen material refractario y que se emplean para recoger en la mufla el residuo de oro puro que queda al disolver la plata del botón por medio del ácido nítrico.

Tostadoras y escorificadoras - Son piezas circulares pandas que dan fácil acceso al oxígeno del aire que está llamado a desempeñar gran papel en aquellas operaciones que en ellas se ejecutan; se construyen también de material refractario y los diámetros más usuales son 5 y $2\frac{1}{2}$ pulgadas respectivamente.

Copelas - Se fabrican de hueso quemado u otro material poroso que absorba el óxido de plomo que se forma durante la copelación; una de ellas, de 1 o $1\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro, es capaz de absorber de 20 a 30 grs de litargirio.

Lo más usual y económico es que el ensayador fabrique las que haya de consumir para lo cual debe contar con la horma del caso, pero si por una u otra razón no pudiere hacerlas se consiguen en el comercio extranjeras que dan muy buenos resultados debido a la homogeneidad de su grano. Una composición que en la práctica da excelentes resultados se obtiene mezclando hueso calcinado y molido a cedazo # 60 con un poco de soda y agua.

Conos - De hierro y se emplean para vaciar el contenido de crisoles y escorificadoras una vez terminadas las operaciones respectivas; es más práctico poder usarlos separadamente pero algunos prefieren tenerlos fijados a una plancha también de hierro.

Tenazas - Son de absoluta necesidad para esta clase de trabajos y su forma y tamaño varía con el objeto a que se les destine. Para un laboratorio en pequeño son suficientes las siguientes: una recta para el manejo de los crisoles, otra también recta pero con aletas un poco más anchas para el carbón, unas pinzas para el manipuleo de las copelas en la mufla y otra que lleve en uno de sus extremos una media luna metálica que presta gran servicio al trabajar con tostadoras y escorificadoras.

Plancha trituradora - De acero con mano del mismo material; prácticamente indispensable para la trituración del mineral a grano fino; se debe montar sobre un burro de madera fuerte para mayor comodidad al trabajar y el mango de la mano, que también es de madera, debe ser bien redondeado a fin de evitar talladuras ya que el ensayador se verá precisado a hacer un esfuerzo grande para conseguir el objeto que persigue.

Payoneras - Son planchas de lámina delgada divididas en compartimentos capaces de dar cabida a las copelas y a los cocos calcinadores, cuyo principal objeto es evitar confusiones cuando se trabaja con series y a la vez facilitar el transporte de los ensayos de uno a otro sitio.

Tubos de vidrio - Se emplean para atacar en ellos el botón de Au y Ag y disolver ésta por medio del ácido nítrico; un laboratorio grande necesita matraces o balones de tamaños mayores pero considero que el pequeño que he tratado de acondicionar sólo tiene necesidad de los tubos de vidrio.

Otros elementos - A más de lo ya enumerado son también indispensables los siguientes: un yunque no muy grande, dos martillos de distinto tamaño, uno o dos alicates, dos espátulas, unas pinzas de joyero para el manejo de

los botoncitos de oro y plata, otras de madera para sostener los tubos durante el ataque, una lámpara de alcohol que sirva para calentar esos mismos tubos y una escobilla metálica para la limpieza de los botones.

Batea - Es elemento que no debe faltar al ensayador y que le permite constatar la presencia de oro libre en la muestra así como también conocer los distintos componentes que pueda tener y que, como ya se vió, son de gran interés para la escogencia de los fundentes.

No sobra recalcar una vez más el cuidado que debe tenerse en manejar totalmente limpios todos y cada uno de estos elementos para evitar posibles saladas de los ensayos; tanto el horno como las tenazas y los demás utensilios son iguales a los que se emplean para la fundición de barras de oro y plata pero en ningún caso deben tenerse para ambos usos y antes bien es poco todo el cuidado que se ponga en separarlos. El ensayador debe estar en el pleno convencimiento de que el análisis de una muestra salada constituye un verdadero peligro y evitar por tanto cuanta causa pueda inducirlo a un error.

13)- BALANZAS - Para un laboratorio de ensayos son de imprescindible necesidad por lo menos dos de estos elementos.

Balanza de precisión - Se emplea para la pesada del oro y la plata por lo cual debe ser altamente exacta, considerándose suficiente una sensibilidad de 1/50 de miligramo.

Debe mantenerse en perfecto estado de limpieza, pues debido a sus características un granito pequeño de polvo sería ya causa de un error apreciable, y revisarse una o dos veces antes de trabajar con ella para tener la seguridad absoluta de que la lectura que se haga indica el peso verdadero.

Se sitúa en un lugar en donde el ensayador pueda disponer de luz suficiente pero teniendo en cuenta que no reciba los rayos del sol porque pueden afectarla; debe montarse sobre una mesa fuerte y en tal forma que sufra el menor número de movimientos y golpes posible.

El equilibrio se busca con las pesas de miligramo de que debe estar provista y para las fracciones es preciso recurrir al jinetillo que para el efecto puede correrse a todo lo largo de su brazo. Sabiendo la cantidad de mineral que se tomó para el ensaye la riqueza del mismo, en gramos por tonelada, se consigue

por una simple proporción.

Balanza para mineral y fundentes - No se necesita sea tan precisa como la anterior y da buenos resultados una de las de platillos movibles que se consiguen en el comercio, con las cuales el error en una muestra de 50 grs ascendería a pocos miligramos y no sería por tanto digno de tenerse en cuenta.

No obstante, el hecho de no ser muy exactas obliga al operario a poner especial cuidado en la pesada del mineral para ver de aproximar lo más posible; para los fundentes no tiene ninguna importancia el error que de ellas pueda desprenderse.

Debe estar complementada con un estuche de pesas hasta para 100 o 150 gramos.

14)- MANERA DE PROCEDER - Teniendo ya un conocimiento más o menos completo de las distintas operaciones y de los efectos que con ellas se persiguen, así como también de los varios elementos que nos son indispensables para llevarlas a cabo, paso a mostrar la forma como en la práctica se procede.

Preparación de la muestra - Para obtener una mayor uniformidad de ella y a la vez conseguir una mejor acción de los fundentes es preciso pulverizarla cuidadosamente; si la muestra llega en fragmentos gruesos, cosa desde todo punto de vista indeseable pero desgraciadamente muy común, el ensayador procede a reducir el volumen de ellos en un mortero escrupulosamente aseado con anterioridad o en una quebradora si la tuviere. Los Laboratorios de Fundición y Ensayes existentes entre nosotros poseen hoy quebradoras eléctricas de fácil manejo y muy eficientes puesto que en unos pocos minutos y con un mínimo de gastos reducen el grano al diámetro conveniente, pero es de suponer que en la gran mayoría de los casos el ingeniero no dispondrá de esta clase de elementos y se verá en el caso de tener que utilizar los primeros.

Una vez efectuada esta operación y cuarteada la muestra para evitar el trabajar con cantidades demasiado grandes, se pasa el mineral a la plancha de acero en donde se reduce a un polvo finísimo con ayuda de la mano respectiva; ese polvo debe pasar íntegramente a través de un cedazo # 90 o cuando menos por uno # 80 y ser luego mezclado íntimamente sobre un papel o tela de caucho sirviéndose para ello de la espátula. Así la muestra está ya lista para ser pesada y debe colocarse en un frasco de boca ancha o en un talego de papel debidamen-

te marcado a fin de evitar confusiones cuando se trabaja con series de ensayos, que lo es casi siempre por abaratar el costo por unidad; son también muy apropiadas las escorificadoras para contener la muestra antes de ser pesada y se acostumbra diferenciarlas por medio de una papeleta en que consten todos los datos que sobre la materia de análisis se tengan.

Preparación del flujo - Es buena práctica arreglarlos en cantidad para las distintas clases de minerales y para el efecto se emplean medidas especiales que facilitan y evitan el tener que hacer la pesada de los varios componentes; así por ejemplo, sabiendo el peso a que equivale el contenido de una copa u otra vasija cualquiera en litargirio, soda etc, bastará con mezclar determinado número de esas medidas de cada uno de ellos y revolver luego con la espátula sobre un papel no muy grueso hasta conseguir su homogeneidad, que es de suma importancia para la consecución de una completa descomposición de la muestra.

Mineral y flujo - Teniendo ya pesada la muestra, que como se dijo y repito es operación que debe hacerse con la mayor exactitud posible, y listo también el flujo que le corresponde se procede a mezclarlos íntimamente para asegurar su efecto, operación que también se ejecuta con la espátula y sobre un hule o papel delgado; el ideal sería que cada una de las partículas de mineral estuviera en contacto con las de los fundentes en la misma proporción en que éstos se tomaron para el flujo total y es por lo mismo de sumo interés que dicha operación se haga con toda minuciosidad.

El conjunto de mineral y fundente debe colocarse luego en un talego de papel si es que la fundición no ha de llevarse a cabo inmediatamente y marcarlo en forma debida; en el momento mismo de fundir se vacia el contenido al crisol, viendo que no queden partículas adheridas al papel.

Dije ya que un crisol puede servir para varias operaciones pero es preciso observar detenidamente su interior y cerciorarse de que no han quedado partículas de la fundición anterior puesto que podrían poseer Au y Ag y desquiciar totalmente el resultado, pero ello no es tampoco común cuando se trabaja con cuidado; no obstante, para ensayos muy delicados es siempre aconsejable emplear crisoles nuevos.

Colocación del crisol en el horno - Al trabajar con un solo ensayo dicha operación no tiene complicación de ninguna clase y lo único que tiene que ver el ensayador

es que el crisol quede suficientemente cuñado y evitar así un posible derrame que ocasionaría la pérdida del trabajo hasta allí efectuado, pero por regla general las fundiciones se hacen por tandas de cuatro crisoles y debe entonces marcarse con tiza sobre la tapa el número que corresponda a cada cual ya que una traba podría tener resultados muy funestos. Lo más aconsejable es hacer de cada muestra dos análisis y aceptar su promedio como verdadera riqueza siempre y cuando que la diferencia entre ellos no pase de 0,04 o 0,06 de miligramo, y así el ensayador debe acostumbrarse a colocar siempre los crisoles en igual forma, como por ejemplo los dos del número 1 a la derecha y los dos del número 2 a la izquierda.

Una vez puestos los crisoles dentro del horno se coloca una mayor cantidad de coke buscando que su nivel superior no sobrepase al de aquellos, y se tapa el horno para conseguir una temperatura suficiente.

Fundición - Durante su proceso hay escape de CO_2 en una forma más o menos violenta que puede llegar hasta arrastrar partículas de mineral y es esa una de las razones por las cuales debe procurarse que la masa no ocupe más de las dos terceras partes del volumen del crisol; esa efervescencia excesiva se contrarresta añadiendo a la carga fundida pequeñas cantidades de sal común (NaCl).

Llega un momento en que la masa se tranquiliza y en el que la escoria impide la oxidación del plomo reducido por cubrirlo enteramente y es entonces cuando se procede a revolverla con el clavo para dejarla asentar de nuevo y en seguida proceder a vaciarla al cono metálico.

No está por demás imprimir al crisol un pequeño movimiento giratorio al sacarlo del horno pues con él se consigue una mejor condensación de las partículas de plomo que pudieran estar todavía dispersas en la escoria. Para evitar el que ésta se adhiera al metal del cono es prudente darle un baño interior con un poco de grasa o esperma.

Limpieza del botón de plomo y copelación - Hay que dar tiempo suficiente para que el botón se solidifique antes de volcar el cono y luego separarlo cuidadosamente de la escoria sobre el yunque y a golpes suaves de martillo. En ese estado se encuentra ya listo para entrar a la mufla, que debe estar calentada por ahí a unos 850 o 900°, y en la cual se ha colocado desde antes

la copela que ha de recibirlo.

A la temperatura de la mufla su fundición es muy rápida y parte del PbO que se forma se volatiliza pero la mayor cantidad es absorbida por la copela; la concentración de Au y Ag va acentuándose a medida que el plomo desaparece y llega un momento en que se hace total y el globulito aparece como fijo y sin el brillo que lo caracterizaba pocos segundos antes, lo cual debe tomarse como señal inequívoca de que ha sido conseguido el objeto que se buscaba.

Ataque - El botoncito de Au y Ag se separa cuidadosamente de la copela por medio de un alicate de punta delgada, se limpia con la escobilla metálica y se lamina luego con el martillo; colocado luego con ácido nítrico diluído a 22 o 23° se disuelve la plata al hervir y queda por consiguiente oro puro.

Para que esa disolución sea completa es necesario que la proporción de plata a oro sea por lo menos de $2\frac{1}{2}$ a 1 , puesto que en el caso contrario se forma una película de oro compacto que impide el acceso del ácido al interior de la masa. Hoy en día el valor de la plata es sumamente bajo y es por eso costumbre no determinarla a fin de facilitar el trabajo, pues para conseguir la proporción requerida o una todavía mayor basta con agregar un poco de plata metálica al copelar el botón de plomo; sin embargo, se dá el caso de que sea precisa dicha determinación y entonces se procede a pesar exactamente el botoncito de Au y Ag y luego se le agrega el exceso de ésta por fundición a soplete sobre un trozo de carbón o bien envolviéndolo con ella en papel plomo y repitiendo su copelación.

Al hervir el ácido del tubo e iniciarse la disolución, la lámina de Au y Ag se mueve continuamente y hay que tener cuidado de que la temperatura no suba demasiado porque puede llegar hasta botarse, pero a medida que la operación adelanta se nota en ella una mayor quietud y al final está perfectamente asentada en el fondo.

Una vez terminado este trabajo se vacia el ácido con ayuda de una varilla de vidrio y en una forma tal que no permita el escape de ninguna de las partículas de oro, se llena otra vez el tubo con agua destilada o llovida y se voltea rápidamente sobre un coco calcinador; éstos deben tener cabida para toda el agua y así después de unos cuantos segundos el oro se habrá depositado en el fondo de los mismos y podrá sacarse gran parte de ella inclinándolos con mucho cuidado.

Calcinación - El coco con el oro se pasa ahora a la mufla y se espera hasta que aquel se ponga al rojo y expulse por tanto el resto de agua que pudiera quedar, notándose que con esta operación el color rojo oscuro que presentaba el oro esponjoso después de disuelta la plata se convierte en el amarillo tan característico a este metal. Para estos efectos son suficientes 10 o 12 minutos.

La pesada del oro no ofrece dificultad mayor pero es preciso ejecutarla con el máximo de cuidado, al igual que todas y cada una de las operaciones que le precedieron.

15)- CALCULO DE RESULTADOS - Supongamos que hemos ensayado una muestra sobre 50 gramos y por duplicado, y obtenido en miligramos las siguientes pesadas:

	I	2	Promedio
Au y Ag	15,41 ..	15,35	15,38
Au	0,98 ..	1,00	<u>0,99</u>
Ag			<u>14,39</u>

Como se ve claramente y es cosa que no necesita explicación, la riqueza en plata se obtiene por la diferencia de peso entre el botón que sale de la copelación y el oro puro que se tiene después de calcinarse.

Provieniendo estos resultados de 50 gramos de mineral es lógico que para obtenerlos por tonelada haya que multiplicar por 20, y así tenemos que los respectivos tenores de riqueza son:

Au	19,8 grs por ton.
Ag	307,6 " " "

Ahora bien, los precios para estos metales en el mercado de New York por kilogramo puro son 1.125,24 y 13,00 dólares respectivamente, siendo de advertir que el de la plata varía con relativa frecuencia, por lo cual podemos valorar sin dificultad de ninguna clase y tener:

Au 19,8 grs por tonelada métrica	U.S.\$	22,28
Ag 307,6 " " " "	U.S.\$	<u>4,00</u>
Total	U.S.\$	<u>26,28</u>

En la boleta de ensaye que entre nosotros da el Laboratorio al interesado aparecen no sólo estos datos sino también la mineralización de la muestra y el cateo a batea indicando la presencia o ausencia de oro libre en la misma.

16)- CORRECCION DE LOS ENSAYES PARA PLATA - Sucede que al copelar a temperaturas muy altas se sufre una pérdida de este metal por volatilización, y aun cuando es cierto que trabajando a temperaturas bajas esa pérdida puede desaparecer o al menos llegar a ser insignificante, considero oportuno mostrar la forma como debe corregirse el error que puede presentarse por dicho motivo.

Algunos acostumbran evitarlo recurriendo al ensaye por vía húmeda, pero es preciso entonces disponer de varios elementos distintos a los antes enumerados y sobre todo la preparación de soluciones presenta para el ingeniero complicaciones serias, por lo cual considero muchísimo más práctico el empleo de los llamados cheques y que es de por sí bien sencillo.


Basta con pesar exactamente una cantidad determinada de plata pura, envolverla en un poco de papel plomo y copelarla en condiciones idénticas a las que se tienen para el botón de Au y Ag o bien para el de Ag en el ensaye de minerales netamente argentíferos, y constatar luego con la balanza la disminución en el peso; es claro que el botón sufre la misma pérdida y por tanto a su pesada debe añadirse lo que proporcionalmente corresponda.

Ese inconveniente hace que no sea aconsejable dejar el botón en la mufla después de que ha tenido lugar el fenómeno del relámpago de que antes se habló, y antes bien es preciso retirarlo inmediatamente después; para con los botones muy ricos en plata debe tenerse el cuidado de no sacarlos sino gradualmente de la mufla, pues dicho metal en el estado fundido absorbe oxígeno para expulsarlo nuevamente al solidificarse, pudiendo llegar hasta reventar el botón ocasionando pérdidas mecánicas; teniendo la precaución de dejar la copela unos cuantos segundos en la puerta esa solidificación se efectúa lentamente y el oxígeno sale sin deformar el botón.

Creo dejar así clara y suficientemente explicado el tema que me propuse desarrollar y sería para mí motivo de verdadera satisfacción el saber que a alguien le han sido de utilidad estos apuntes.

Cali, Octubre 23 de 1.937




Gustavo Rodríguez O.