

MINERALOGIA APLICADA

MEMORIA sobre la metalurgia práctica del plomo y de la plata en el distrito de minas de Zimapan.

TEORIA DEL BENEFICIO POR VIA SECA Ó DE FUNDICION:

OBSERVACIONES

SORRE LOS METODOS ADOPTADOS EN ESTE DISTRITO, Y ANALISIS DE ALGUNOS MINERALES, Y DE LOS PRODUCTOS ARTIFICIALES OBTENIDOS EN EL TRATAMIENTO METALURGICO,

POR EL SR. D. FEDERICO FARRUGIA MANLY, SOCIO CORRESPONSAL EN ESE LUGAR.

Entre los sistemas mas generalmente usados en la República mexicana, para la extraccion de la plata de sus minerales, es el de fundicion ó por *fuego*, único que se practica en este distrito de Zimapan.

La plata se encuentra en algunas minas, con más ó ménos abundancia en el estado nativo, y esto explica el conocimiento que de este metal se tenia desde la más remota antigüedad.

En los minerales en que este metal se encuentra bajo la forma de combinaciones químicas, más ó ménos complicadas, es necesario las mas veces para tratarlos por fundicion y extraer la plata, someter el mineral á la calcinacion, para desalojar las sustancias ó materias susceptibles de volatilizarse, y que son nccivas en el beneficio.

Las oficinas metalúrgicas más notables en el país para la extraccion de la plata por el método de que se trata, son la de Trojes, cerca del mineral de Anganguero, la de Arcos en Zultepec, la de Regla cerca del mineral del Monte, la de San Pablo en el mineral de la Bonanza, y la de San Antonio en este mineral: en todas estas haciendas se ha adoptado el sistema de hornos altos y semi-altos alemanes, en los que se obtienen notables ventajas sobre los pequeños hornos llamados Castellanos.

Además de las citadas fundiciones, existen otras en más pequeña escala en el mineral de Xichú y en el de Atarjea, en los minerales del Doctor y Miconi, y en el mineral de Jacala; pero en aquellos lugares aun no se adoptan ningunas reformas, fundiendo todavía en primitivos y pequeños hornos cas-

tellanos, usando aparatos de soplo bastante imperfectos, unas veces movidos por el agua y otras por la fuerza muscular del hombre.

Metales de plomo, plata y de hierro de este distrito.

Las clases ó especies de minerales de plomo, peculiares de este distrito, son muy numerosas, pero en la práctica se dividen, en metales sulfurados y metales oxidados; los primeros se conocen entre mineros y fundidores con el nombre de *pepenas*, y los segundos, con el de *cuajados*.

Los minerales ó metales de plata, tambien varian en sus especies, pero se pueden dividir en tres clases, que son: sulfuros de plata, piritas de hierro, y carbonatos, óxidos y sulfuros de cobre argentíferos; prácticamente los primeros se denominan *mogrollo*, los segundos *bronces* y los terceros *metal verde*.

Por último, minerales propiamente de fierro sin ley de plata, y que se conocen con el nombre de *metal del Monte* ó de *arrastrés*.

De las especies enumeradas, las dos primeras, ó sean *pepenas* y *cuajados*, la primera contiene el plomo en el estado de sulfuro, y la segunda en el de óxido combinado con diferentes ácidos, carbónico, sulfúrico, fosfórico molybdico y arsenioso; además, carbonatos de hierro en una proporcion notable.

La mina mas productiva por su abundancia de metales plomosos, y por la variedad de sus especies, es la nombrada Lomo de Toro, labrada sobre un cúmulo de una extension notable: sus principales productos son, carbonatos y óxidos de plomo en las labores altas mas cerca de la superficie, galena pura á cierta profundidad, continuando despues intimamente combinada con la piritas de fierro, acompañando muy escasamente á la matriz el espato fluor.

La testura de estos minerales presenta tambien la mayor variedad; unas veces la galena se presenta de grano fino, otras en masas y de testura hojosa y plana y en cristales resplandecientes de lustre metálico; rara vez se encuentra la blanda: la ley en plata tambien es muy variable, pues la contiene desde $3\frac{1}{2}$ hasta 16 onzas por carga de 12 arrobas (138 kilogramos); la ley de plomo tambien fluctúa entre 15 y 52 por ciento.

Algunos mineralogistas han emitido la opinion de que la galena de grano fino, es la más rica en plata, y que las otras especies son más pobres. D. Andrés del Rio dice: «que en Sajonia han observado, que la galena en octaedros simples y prolongados, es la que acompaña á ricos minerales de plata: que la cúbica es la más pobre, y la cubo-octaedra la más rica, aun sin acompañar á los metales de plata.» Aquí he ensayado trozos

escogidos de galena, de testura ó grano fino como el acero, y de la cúbica, obteniendo de esta última más ley de plata que de la primera.

La formacion geológica de las montañas en que está el cúmulo de metales explotados en la mina de Lomo de Toro, es la caliza: digno todo de un detenido estudio; pero á primera vista y solo con el exámen del órden como se van encontrando sus metales, se debe suponer que las inmensas cantidades que ha producido y produce de mineral oxidado, provienen de la descomposicion de las galenas que se van encontrando en la profundidad, acompañadas de piritas de hierro sulfúreas. El Sr. Rivot dice, que en España, cerca de Santander, se explotan masas de minerales de plomo carbonatado, mezclados irregularmente de blenda y galena, pero que la existencia de estos carbonatos de plomo proviene evidentemente de la descomposicion de la galena. Los minerales oxidados de Lomo de Toro, con frecuencia se hallan tambien acompañados de galena y aun de piritas de fierro, particularmente los que produce una de las minas anexas llamada el Mezquite.

La tercera clase de los metales de este distrito, esto es, los de hierro, y que están en uso como desulfurantes, tienen una ley média, de 60 á 75 por ciento de fierro; su uso es ventajoso en los lechos de fusion para las galenas de Lomo de Toro y para otros metales sulfurados, como por ejemplo, los de la mina de San Júdas en el mineral de la Bonanza.

Por mucho tiempo ha ocupado, y aun en la actualidad ocupa la atencion de varios fundidores, el tratamiento metalúrgico que en la hacienda de San Pablo debe adoptarse para fundir con buen éxito los metales argentíferos de la mina de San Júdas, sin el auxilio de los metales *plomosos* ó de *ayuda*, peculiares del distrito de Zimapan, y particularmente de los de la citada mina de Lomo de Toro; pero hasta ahora no han sido coronadas de un resultado satisfactorio las experiencias practicadas. En el lugar correspondiente de esta Memoria, trataremos de esta materia al hablar sobre el beneficio de dichos metales.

Descripcion práctica del sistema de fundir los minerales de plomo y plata en el distrito de Zimapan.

La fusion en hornos altos ó de cuba y en los llamados semi-altos, se efectúa sobre minerales muy diversos en su mineralizacion, y bajo dos procedimientos muy distintos, esto es, en *crudo* ó *calcinados*; sin embargo, estos dos métodos no difieren mucho en las reacciones químicas que se efectúan, porque aun calcinados los metales no se desulfuran completamente, lo que dá lugar á la formacion de más ó ménos *fierros de planchera* (*mattes*.) Sea uno ú otro el procedimiento empleado, como estos *mattes* vuelven á

usarse en los lechos de fusion, siempre deben calcinarse previamente para utilizarlos convenientemente.

El combustible usado en esta localidad para la fusion de los minerales de plomo y plata, es el carbon de encino, y la leña del árbol llamado piñon para la calcinacion de los metales y copelacion del plomo argentifero.

Para la formacion de las *revolturas* ó lechos de fusion, hay que atender á la matriz y compuestos de los metales, pues debe hacerse una mezcla tal, que se obtenga en las condiciones ordinarias de la temperatura del horno una escoria muy fusible, porque la volatilizacion en este caso del plomo y de la plata, será mucho menor que con una escoria espesa y mal escorificada.

Generalmente los metales destinados al beneficio por via seca ó de fundicion, son aquellos á los que no se les puede extraer la plata por otro método de los conocidos, constituyendo en este caso minerales excesivamente *rebeldes* aun para el procedimiento á que se les somete. La primera ó preliminar operacion que se practica, es la calcinacion ó *queme*, bien sea en grandes montones al aire libre, llamados *tases* y *caleras*, ó bien sea en hornos de reverbero: en el primer caso se ejecuta esta operacion poniendo en un terreno bien apisonado, una cama de leña gruesa y seca, colocada de manera que forme una especie de parrilla, con el objeto de darle libre corriente al aire, y activar la combustion de la leña y del mineral al principio de la operacion; terminada esta plataforma de madera, se echa el mineral quebrado como viene de la mina, formando una pirámide de base cuadrangular; despues se pone fuego á la leña simultáneamente por todos lados; el mineral á los pocos momentos empieza á arder á expensas del azufre, desalojándose éste y todas las demas sustancias volátiles, como el arsénico, el zinc, el antimonio, y algun plomo del contenido en la galena, cambiándose entonces la naturaleza de los metales en óxidos, silicatos, sulfatos, etc., facilitándose así la fusion y extrayéndose la plata y el plomo con ménos pérdida, si los lechos de fusion han sido convenientemente preparados.

Para calcinar los metales por el segundo procedimiento, ó sea en hornos de reverbero, es necesario porfirizarlos; pero los minerales que se han de fundir así en un estado extremo de division, son nocivos y entorpecen las funciones del horno, y solo se aceptan cuando se extraen naturalmente de la mina en el estado de tierras ó arenillas; en este caso y despues de reverberarlas si son sulfuradas, es necesario formar piedras artificiales ó pequeños adobes que formen cubos de 5 ó 6 centímetros de lado: para esto, se procede á construir con un molde, un adobe grande con las citadas tierras, mezclándolas con el 12 ó 15% de cal; cortándolo despues en pequeñas partes

del tamaño mencionado, se dejan secar, y se obtienen de una dureza bastante para sufrir el transporte á los hornos, etc.

Diferentes son las reacciones químicas que se efectúan en los hornos, y según las clases de los minerales que se funden, así podremos determinar los siguientes casos que aquí se presentan en la práctica, y son:

Primero.—Beneficio de los minerales de plata con galena y otros compuestos, convertidos en materias oxidadas por medio del combustible de leña.

Segundo.—Minerales con plata, galena, carbonatos y óxidos de plomo, matriz arcillosa, fundidos en *crudo* y en presencia de mineral de hierro.

Tercero.—Minerales de galena argentífera, con piritas de fierro arsenicales conteniendo una mezcla heterogénea de óxidos, sulfatos, silicatos y sulfuros, con adición de mineral de hierro.

Cuarto.—Los mismos metales imperfectamente calcinados, fundidos con adición de mineral de fierro y cal.

Primero.—*Minerales oxidados por medio del combustible.*—Estos minerales son los producidos por la mina de San Júdas en el Mineral de la Bonanza; compuestos de plata, plomo, azufre, arsénico, antimonio, fierro, manganeso, zinc y siliza, los cuales sometidos á la calcinacion en montones al aire libre, todas sus partes sufren diferentes modificaciones, convirtiéndose en óxidos, sulfatos, silicatos, etc.

El cuarzo se halla contenido en estos metales en la proporcion de 30%; este cuerpo permanece pasivo durante la calcinacion, miéntras no sea muy elevada la temperatura; pero si ésta llega lo suficiente para reblandecer los minerales como sucede en el centro de los montones, entónces la siliza se combina formando varios silicatos, particularmente con el fierro, que es el que predomina en los citados metales. Estos minerales de la mina de San Júdas, contienen bastante galena, la cual en la calcinacion se transforma en óxido y sulfato de plomo, de manera que la siliza en las operaciones en grande escala, puede servir para descomponer el sulfato de plomo producido por la calcinacion; bajo este concepto, la siliza aplicada convenientemente y con acierto, puede servir para la desulfuracion de los minerales: además, en la calcinacion evitará tambien la formacion del sulfato de plomo, reemplazándolo por silicato bastante fusible; porque particularmente el de plomo, se reduce con facilidad poniéndolo, como debe estar en el horno, en contacto con el carbon, y en presencia de una base enérgica, como por ejemplo, el óxido rojo de fierro: estado en que vienen á convertirse las piritas por medio de la calcinacion.

En el horno, este óxido de fierro se combina tambien con la siliza, contribuyendo esta afinidad para hacer mas fácil la reduccion del plomo; además, las piritas ó sulfuros de fierro, ya calcinados, equivale á la adicion de fierro ó de algun mineral que lo contenga; pero tambien por otra parte, si hay en los lechos de fusion un exceso, será perjudicial, porque produciria demasiado óxido, comunicando á las escorias el defecto de destruir las paredes del horno, de producirse demasiado sub-sulfuro, del cual, reduciéndose una parte, determina la formacion de unas pegaduras que llenan la mesa y crisol, corroyendo además la brasca del banco.

Por otra parte tambien, los silicatos de fierro que merced á la matriz de los minerales de que se componen los lechos de fusion se producen en el horno, sirven para proteger al plomo reducido contra la accion oxidante del aire que los aparatos de soplo arrojan al interior del horno, dejando obrar el combustible sobre el mineral, sin que sea necesario elevar demasiado la temperatura, es decir, sin necesidad de marchar con el *alcribis claro*. El óxido de plomo en este caso y en estado libre, puesto en contacto con el carbon, se reduce fácilmente, no siendo necesario un exceso de grasas como fundentes, particularmente si éstas son básicas: logrado que sean estas reacciones, el plomo reducido se alea fácilmente con la plata, descendiendo el plomo sin volatilizarse al crisol, debajo de las grasas que en este caso están bastante fluidas. Las escorias producidas en la reduccion del litargirio á plomo metálico, y de los *absugs* y *abstrichs*, son siempre ricas, debiendo por consiguiente preferirlas cuando se tienen para echarlas en los lechos de fusion.

Bajo estos conceptos, la fusion de los minerales de plata con galena, oxidados artificialmente y expulsado de la manera mas completa posible el azufre, arsénico, antimonio, etc., no presentan ninguna dificultad; las escorias se obtienen pobres en plata y plomo, y los *mattes* no retienen tampoco cantidades notables de los dos metales: de esta manera se tratan perfectamente las galenas puras de la mina de Lomo de Toro, y los metales de la Bonanza, usando hornos semi-altos de $3\frac{1}{2}$ á 4 metros de caja.

Segundo.—*Minerales con plata, galena, carbonatos y óxidos de plomo, matriz arcillosa, fundidos en crudo y en presencia de mineral de fierro.*—Estos minerales son los óxidos de plomo naturales de la mina de Lomo de Toro que llaman *cuajados*: raras veces se funden solos ó como beneficio especial, sino como fundentes para los metales argentíferos; no obstante, hemos practicado fundiciones especiales con adicion de mineral de fierro, como desulfurante de la galena que siempre contienen en más ó menos abundancia; estos metales tienen una proporecion notable de arcilla, y por consiguien-

te, de alumina, formándose entre el óxido de fierro y la arcilla una materia tan plástica, que con facilidad se adhiere á las paredes del horno arriba de la zona de fusion; esta plasticidad solo se destruye con un fuerte soplo elevando la temperatura del horno, y en este caso, la *revoltura* desciende muy rápidamente, y los gases calientes que ascienden, volatilizan una parte del plomo ya reducido: por otra parte, si el mineral de fierro agregado como desulfurante ha sido en demasiada cantidad y con el objeto tambien de formar escorias mas liquidas, al apoderarse aquel del azufre y la siliza, queda el plomo libre, formándose tambien al mismo tiempo un sulfuro doble de fierro y de plomo (que es la sustancia que se denomina *mattes*) más ó ménos rico en plomo y plata, y cuya riqueza será mayor mientras más baja ha sido la temperatura con que se ha operado. El tratamiento en este caso mas conveniente para estos metales, sería calcinarlos previamente con el objeto de destruir la plasticidad de la arcilla, y tambien desulfurar la galena que contienen íntimamente combinada con los óxidos y carbonatos de plomo.

Respecto al empleo del fierro metálico ó de los minerales de fierro en los lechos de fusion como desulfurantes de los metales sulfurados, teóricamente se deben emplear 23 partes de fierro para 100 de galena pura; en este caso, es evidente que quedando el óxido de plomo libre, es reducido inmediatamente por el combustible bajo una temperatura moderada, á plomo metálico, arrastrando entónces consigo su propia plata, y formando al mismo tiempo una aleacion con la contenida en los metales argentíferos que se agregaron á los lechos de fusion ó *revolturas*.

Tercero.—Minerales de galena argentífera reverberadas conteniendo una mezcla heterogénea de sulfuros, sulfatos y óxidos de varios metales y adición de mineral de fierro.

Los minerales carbonatados y oxidados, sean naturales ó artificialmente, son como hemos dicho, reducidos á plomo metálico por los gases ascendentes durante su descenso en el horno, y el plomo, cayendo en gotas bajo el influjo de una alta temperatura, está expuesto á volatilizarse, constituyendo esto una de las pérdidas mas fuertes, tanto en plomo como en plata, que se obtienen en el tratamiento de los minerales por el fuego: esta más ó ménos volatilizacion depende tambien, del poder desoxidante de los gases y su temperatura, circunstancias íntimamente ligadas con la altura de los hornos y la presión del soplo.

Este defecto de la volatilizacion del plomo, será tanto más grande, cuanto las materias sean más divididas, porosas y reductibles, porque llegadas una vez á la zona de fusion, estas sustancias, en parte fundidas y en parte en esta-

do pastoso, sufren en este caso reacciones muy diversas, como son: la descomposicion de los sulfatos por la siliza libre si ésta abunda en la matriz de los metales; trasformacion de los sulfatos restantes en sulfuros; sustitucion del fierro al plomo en los silicatos y en los sulfuros; reduccion de gran parte del óxido de plomo por el combustible; accion del azufre libre sobre el óxido de plomo no reducido, y del óxido de fierro sobre el sulfuro de plomo, y por último, fusion de las sustancias terrosas de los minerales, dando por resultado los productos de plomo de obra ó argentífero, grasas, y los *mattes* llamados *fierros de planchera*.

La accion que verifica el azufre que queda libre ó que no ha sido desalojado en la calcinacion de los metales, es como hemos dicho, bastante nocivo en el horno de fusion, porque obrando enérgicamente sobre los óxidos de plomo y de fierro que no han tenido las modificaciones convenientes, los reduce á sulfuros de fierro y de plomo, adhiriéndose particularmente este último á las paredes del horno, y formando lo que se llama *pegaduras*, entorpeciéndose así el descenso regular de la carga.

Este sulfuro de plomo artificial, que propiamente puede llamarse *galena regenerada*, retiene una cantidad notable de plata, habiendo obtenido por el ensaye docimástico, la ley de 3, 84 onz. por carga de 300 libs. Hemos puesto en un crisol en el hornillo de ensaye 85 partes de plomo granulado, y 13 partes de azufre, y elevando la temperatura al rojo blanco, se obtuvo un trozo de galena artificial de grano fino perfectamente caracterizada, y cuyo ejemplar remitimos á la Sociedad de Historia Natural.

El efecto que produce el azufre sobre el plomo metálico, en las condiciones en que ambos cuerpos se encuentran en el horno, es muy sencillo de comprender si se atiende á las propiedades del primero, y á los caractéres que presenta y modificaciones que sufre segun las diferentes temperaturas á que se le somete. Dumas, en su Química industrial, tomo 1.º, pág. 133, describe los siguientes experimentos:

TEMPERATURA.	AZUFRE CALIENTE.	AZUFRE ENFRIADO REPENTINAMENTE POR LA INMERSION EN AGUA FRIA.
110° centígrados.	Muy líquido, amarillo.	Muy quebradizo, color ordinario.
140° „	Líquido amarillo subido.	Muy quebradizo, color ordinario.
170° „	Espeso, amarillo de naranja.	Quebradizo, color ordinario.
190° „	Más espeso, naranja.	Blando, transparente desde luego, pero muy pronto friable y opaco, color ordinario.
220° „	Viscoso, rojizo.	Blando y transparente, color de succino.
240° á 250° „	Muy viscoso, rojo moreno.	Muy blando, transparente, de color rojizo.
Punto de ebullicion.	Ménos viscoso, rojo moreno.	Muy blando, transparente rojo osc°.

Descritos estos principios perfectamente aplicables á la práctica, resulta, que una parte de las *pegaduras* (engorgements) siempre se forman en los hornos á los $\frac{2}{3}$ de su altura, y donde probablemente la temperatura no es ménos 230° C^o, pues se encuentra algunas veces al descargar el horno, pequeños fragmentos de azufre en el estado viscoso y de color rojo moreno que caracteriza Dumas.

Bajo estos conceptos, se demuestra claramente que la completa ó más perfecta reverberacion de los minerales, es una circunstancia muy esencial para obtener una buena fundicion, que agregado á la accion enérgica y pronta del cómbustible sobre el óxido de plomo, y ántes que los gases sulfurosos puedan obrar sobre él, sea reducido á plomo metálico, y de esta manera se obtendrán los *mattes* ménos ricos en plata y plomo, y las escorias más fluidas y porosas.

El carbon que se usa aquí para la fusion de los metales, es el de encino, y segun los datos y ensayes de los combustibles, por el Sr. Etelmen, la composicion química elemental del carbon vegetal considerado de una manera general, es así:

Carbono	87' 68
Hidrógeno.	2' 83
Oxígeno.	6' 43
Cenizas.	9' 06
	<hr/>
	100' 00

Su poder calorífico es próximamente, 7.000 , y 2.350° C.^o la temperatura de combustion: en este caso el azufre que aun contienen los minerales cuando llegan á la zona de fusion en donde indudablemente existe la temperatura de la combustion del carbon, una parte se volatiliza ascendiendo en el horno y combinándose con el plomo y demás sustancias que encuentra á su paso, y el exceso sale por la chimenea, caracterizado por el color amarillo del humo y el olor de ácido sulfuroso; la otra parte restante se combina en la misma zona de fusion con el óxido de fierro y de plomo que allí encuentra, y entónces se forman los *fierros* (*mattes*) tomando su riqueza de plomo y plata, y formándose algunas veces de esta sustancia bancos excesivamente duros delante del oido de los alcribises, obstruyendo de esta manera la salida de los mismos fierros, de las escorias y del plomo.

Otro fenómeno notable se encuentra tambien en las *pegaduras* de los hornos en la parte más alta del horno, esto es, el plomo blanco ó carbonatado formado tambien artificialmente: en la fusion de la galena abronzada de Lo-

mo de Toro, es cuando se han producido las mayores cantidades superpuestas á las pegaduras de la galena artificial. Los caracteres de este producto son: blanco amarillento, blando, raspadura blanca, peso específico 6' 48, poroso, pero quebrado se presenta compacto y en algunas partes agrisado y ceniciento: tratado por el ácido nítrico, produjo poca efervescencia: por el soplete cambió su color en amarillo, pero no se redujo á plomo metálico sino con borax. La formación de este mineral artificial en los hornos, es debida únicamente al ácido carbónico y al agua desprendidos del mismo combustible: en la tabla de análisis se verá el de esta sustancia.

(CONTINUARÀ.)

