

# 5-46 por  
pag. 43 de  
7-26

## METALURGIA DEL ORO

**Dr. Antonio Durán A.**  
Profesor de la Facultad

### Propiedades Físicas

El oro es el único metal que tiene color amarillo, cuando está puro y en estado nativo. Las impurezas le modifican notablemente el color, la plata le merma el amarillo, en tanto que el cobre se lo aumenta. Cuando está finamente dividido toma otros matices: violeta, carmín, púrpura, siena oscuro o negro.

*Maleabilidad y ductilidad.*—En maleabilidad y en ductilidad el oro excede a los demás metales. Se han obtenido hojas de espesor no mayor de  $1/300.000$  de pulgada, y un solo grano (0.0648 gramos) ha podido convertirse en un alambre de 500 pies de longitud. El Pb, y el Bi y el Te en cantidades aún inferiores al 0.1%, vuelven el oro quebradizo. El Bi aún en un contenido de 0.05% lo hace tan quebradizo, que se puede triturar con los dedos.

*Dureza.*—El oro es más blando que la plata, pero más duro que el estaño.

*Tenacidad.*—El oro puro tiene una tenacidad de 7 toneladas por pulgada cuadrada, con alargamiento de 30.8%.

*Gravedad específica.*—El peso específico varía entre 19.29 y 19.37.

*Acción del Calor.*—El punto de fusión del oro está en los  $1.063^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente, esto es justamente, antes que el del cobre, y  $100^{\circ}\text{C}$  sobre el de la plata.

*Volatilización del oro.*—1. La verdadera volatilización del oro es tan pequeña que puede despreciarse cuando se trabaja a las temperaturas de los hornos industriales de fundición, es decir, entre 1.000 y 1.300 grados centígrados. A estas temperaturas es extraordinariamente difícil, medir con buena aproximación, las cantidades infinitesimales que se volatizan.

2. Es probable que, con tal que se mantenga invariable, la naturaleza de la atmósfera no afecte la volatilización. Aún en fuertes corrientes de aire, la cantidad de oro volatilizado es extraordinariamente pequeña.

3. Ciertas mezclas con oro toman al ser fundidas, oxígeno de la atmósfera (oclusión) y luego, en una atmósfera reductora efervescen, es decir, se forman burbujas que revientan para dar salida al oxígeno. Similarmente, el hidrógeno, y en menor escala el monóxido de carbono (CO), son ocluidos por tales mezclas fundidas, y luego, en atmósfera oxidante revientan en burbujas. Al reventarse las burbujas, se desprenden globulitos o partículas pequeñas del metal en forma de lluvia, y las más pequeñas, especialmente las de un diámetro inferior a 0.001 milímetro, son arrastradas por las corrientes de aire, por pequeñas o débiles que estas sean y se hace difícil recobrarlas. Para esto último se emplean filtros de algodón o de lana.

4. Ese fenómeno se observa en toda mezcla de oro con plata o con cobre. Aún el oro que contiene sólo una parte de plata por mil es afectado, aunque en grado bastante menor que las aleaciones para monedas. La plata afinada y sus aleaciones con cobre también sufren el galleo.

5. Este fenómeno causa las pérdidas irrecuperables en la fundición de tales aleaciones en crisoles, cuando no hay capa de escoria protectora. En tales hornos ordinarios de fundición, la cantidad total de pérdida probable, a menudo excede a 0.1 por mil en cargas de 30 kilos.

El porcentaje de pérdidas durante la fundición no depende únicamente de la temperatura. El paso de una corriente de aire sobre la superficie del metal fundido aumenta la cantidad, de modo que si la tapa del crisol es removida por cualquier motivo, la pérdida aumenta. La presencia de impurezas volátiles en la aleación, también causa aumento en las pérdidas del oro.

El plomo aumenta la volatilidad del oro aunque muy débilmente. El cobre y el Zn tienen un efecto más marcado, mientras que el 5% de Sb o Hg causarían una pérdida de dos partes por mil a la temperatura de 1.245°C.

La pérdida de oro en la fundición de su aleación con cobre, ha sido observada en las casas de moneda experimentalmente. La pérdida en la fundición es aproximadamente de 0.2 a 0.25/1.000, pero disminuye hasta 0.15 y aún hasta 0.1 por mil, cuando se recobra de la molienda, de los crisoles, de las cenizas, de las barreduras de piso y de las paredes del horno.

De acuerdo con los experimentos de Rose, en la Real Casa de Moneda, las pérdidas de oro ocasionadas en la tostión de los minerales de telurio, no son debidas a volatilización, pues el telurio no las causa, a temperaturas inferiores a 1.100°C.

*Conductibilidad eléctrica.*—La c. e. del oro es de 76.7 siendo la de la plata 100.

*Peso atómico.*—Es de 197.2 cuando el del Oxígeno es 16.

*Efecto en el oro, de substancias extrañas.*—Aun cuando estén presentes en pequeñas cantidades, el Pb, el Bi, el Cd, el Sb, el As y el Sn, vuelven el oro quebradizo. El Te produce el mismo efecto. El osmio y el Ir, como osmi-

rido, no se alean con el oro, pero permanecen en la masa en forma de granos y se encuentran principalmente en la base de los lingotes o barras.

*Propiedades Químicas.*—Los solventes principales del oro, usados en la industria son: el agua regia, el cloro y el cianuro de potasio. El oro es también soluble en cualquier mezcla que produzca cloro nascente, como por ejemplo, soluciones que contienen mezclas de:

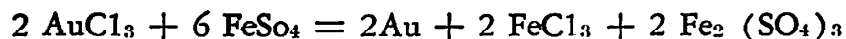
- a) Nitratos, cloruros y sulfatos ácidos;
- b) Acido clorhídrico y nitratos, peróxidos, tales como permanganatos o cloratos;
- c) Cloruros y algunos sulfatos; v. g.  $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$
- d)  $\text{CaCl}_2$  y ácidos oxidantes.

El oro es soluble en soluciones de Br, o en mezclas que producen Br, o en soluciones calientes, concentradas de  $\text{FeCl}_3$ . El I, disuelve el oro sólo en estado nascente. Es también soluble en soluciones de hiposulfitos de Ca, Na, K y Mg, en presencia, eso sí, de un agente oxidante.

Los ácidos sulfúricos, clorhídrico y nítrico separadamente, tienen muy poca acción sobre el oro. El ataque de los álcalis es imperceptible. En una mezcla de ácidos clorhídrico y nítrico sí se disuelve.

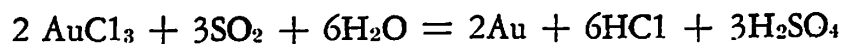
Los principales precipitantes del oro, de uso industrial, son:

1. *Sulfato ferroso.*—Se usa en grande escala para precipitarlo de las soluciones de cloruro de oro, obtenido en el proceso de tratamiento con *agua regia*, o clorinación; la reacción es la siguiente:



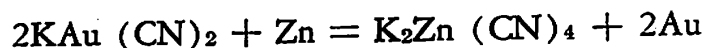
2. *El sulfuro de hidrógeno.*—Se usa también en las plantas con tratamiento al cloro, y en el proceso de Patera, para minerales de oro. El precipitado obtenido, sea de soluciones frías o de soluciones calientes, aparece por regla general, no como un sulfuro definido, sino como una mezcla de los tres sulfuros de oro metálico.

3. *El anhídrido sulfuroso.*—(Dióxido de S). Se usa principalmente en los laboratorios, en la preparación de oro puro de las soluciones de cloro, aun cuando no en grande escala, porque la precipitación es escasa, mientras la solución no está saturada de gas.



4. *Carbón.*—Antiguamente se usó en grande escala, en las soluciones de clorinación. Las reacciones que se efectúan no han sido suficientemente investigadas. El carbón ha sido usado también en algunas plantas pequeñas de cianuración.

5. *Zn.*—Se usa, muy extensamente, en forma de virutas en extremo finas o en polvo, en las plantas de cianuración, para precipitar el oro de las soluciones de cianuro; la reacción es esta:



6. *Aluminio.*—Es también usado, en forma de polvo, en las plantas de cianuración, para precipitar el oro de sus soluciones de cianuro. El oro puede ser también precipitado de sus soluciones de cianuro, por electrólisis

*Cloruros de Oro.*—Hay dos cloruros de oro.  $\text{AuCl}$  y  $\text{AuCl}_3$ . Sólo el cloruro áurico  $\text{AuCl}_3$  es importante en la metalurgia. El  $\text{AuCl}_3$  es muy soluble en agua. En atmósfera de aire es rápidamente descompuesto por el calor, entre 220 y 230°C, la descomposición es completa, se forman  $\text{Au}$  y  $\text{Cl}$ . A 100°C, hay descomposición aunque muy lenta. Es descompuesto por la luz, sea que esté seco o en solución, a condición de que no haya  $\text{HCl}$  libre presente.

La volatilización del  $\text{AuCl}_3$ , que es de importancia en la tostión clorurante de los minerales, principia luego a descender hasta que la temperatura llega a 800°C, entonces comienza nuevamente a ascender. Entre 500°C (rojo oscuro) y 800°C (rojo) la volatilización es pequeña.

Las soluciones de  $\text{AuCl}_3$  son descompuestas y el  $\text{Au}$ , precipitado por varios agentes reductores, por ejemplo,  $\text{SO}_2$ , ácido oxálico, cloruro ferroso, sulfato ferroso, carbón y otras substancias orgánicas y algunos otros metales; el calor acelera la descomposición. Las soluciones son reducidas con mucha rapidez por el zinc y el  $\text{Fe}$  y lentamente por el  $\text{Pb}$ , precipitándose el oro. El  $\text{H}_2\text{S}$  precipita el oro como sulfuro, bien sea de soluciones ácidas o de soluciones neutras.

Ya se han mencionado los precipitantes del oro usados en grande escala. En los laboratorios se emplean para obtener oro puro el  $\text{SO}_2$  y el ácido oxálico; este último, con menos frecuencia.

El sulfato ferroso es usado frecuentemente para constatar la presencia del oro en las soluciones, en forma de cloruro. Con este fin se toman dos tubos de ensayo y se colocan uno junto a otro sobre una hoja de papel blanco. El uno se llena, hasta una altura prudencial, con la solución que se desea ensayar, y el otro se llena con agua. A ambos tubos se le agrega unas pocas gotas de  $\text{FeSO}_4$ . Si hay oro se verá en el tubo que contiene la solución, una coloración sepia, debida al oro en suspensión finamente dividido. Con este método puede observarse hasta 1/720.000 partes de oro en la solución y menos aún.

Si se desea constatar la presencia de cloruro de oro en soluciones mucho más pobres, es necesario usar la reacción de una mezcla de  $\text{SnCl}_2$  y  $\text{SnCl}_4$  en solución, con  $\text{AuCl}_3$ , y se produce un precipitado de púrpura de Cassius. La solución que contiene el  $\text{AuCl}_3$  se calienta hasta la ebullición y se vierte

de súbito en un beaker grande que contenga de 5 a 10 c. c. de solución saturada de  $\text{SnCl}_2$ ; se produce un precipitado rojo purpuríneo, cuando la solución no contenga sino una parte de oro por 5 millones de agua (3.5 grms/ton). Con este experimento se ha constatado la presencia de una parte de oro en 100.000.000 partes de agua (1 grano en 6 toneladas).

Los hiposulfitos de oro son de importancia para el metalurgista, en conexión con la extracción del Au de los minerales de Ag, en el proceso de lixiviación con hiposulfitos de Na o Ca, y en el proceso Russell.

### Aleaciones de Oro

Aunque el oro se liga con muchos metales, sólo unas pocas aleaciones son de uso práctico en las artes o en la industria. Las más importantes son las que forman con el Hg, con el Cu y con la Ag.

El oro y el mercurio forman una serie completa de aleaciones llamadas amalgamas. Estas varían desde el estado líquido hasta el sólido, según la proporción de oro y de mercurio. La amalgama con 32.75% de oro, más o menos es sólida, consistente y blanca.

Cuando hay exceso de Hg presente, como sucede en la amalgamación del oro en los molinos, puede separarse de la malgama, filtrándolo en sacos de gamuza. La amalgama así obtenida contiene siempre algo de Hg, y puede además ser muy variada en su composición, puesto que contiene de ordinario partículas de oro, que han sido sólo parcialmente penetradas por el mercurio. El oro se encuentra en proporciones desde el 25 hasta el 50%. El mayor porcentaje se consigue con mineral que tenga el oro en granos gruesos.

Cuando la amalgama se somete al calor con el objeto de destilarla en retortas, el Hg se volatiliza, se condensa y así se recupera.

*El Oro y la Plata.*—El oro y la plata se unen en cualquier proporción formando masas sólidas y homogéneas, cuyo color es más y más claro a medida que aumenta la proporción de plata. Cuando ésta llega a un 60 o un 70%, la masa es casi blanca.

Las aleaciones de Au y Ag son todas dúctiles y maleables, cuando contienen 60% o más de Ag, ésta es totalmente atacada por el  $\text{HNO}_3$  y puede de ese modo, separarse del Au. Lo mismo ocurre con el  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; pero si la proporción es menor, la Ag es sólo parcialmente atacada.

El agua regia ataca estas aleaciones, pero su actividad termina pronto, merced a la acción del AgCl que en forma de capa protectora, se coloca sobre la superficie del metal.

Las aleaciones son usadas en joyería, pero es mucho más común la triple aleación del Ag, Cu y Au.

*Oro y Cobre.*—El oro se liga con el Cu en cualquier proporción, dando un metal más duro, menos maleable, menos dúctil pero más elástico que el Au.

Cuando los metales no son muy puros, ocurren segregaciones que, por ser de ordinario tan pequeñas, no se tienen en cuenta.

Las aleaciones Au-Cu, que contienen exceso de Cu, son atacadas, como el caso de aleaciones Au-Ag, por los ácidos nítrico y sulfúrico, quedando libre el Au.

Las aleaciones Au-Cu son de uso extenso en joyería.

El oro se alea con el Fe, y lo hace muy rápidamente si el oro está fundido a una temperatura elevada. Se deduce de esto, que el metal no debe, en tales circunstancias, agitarse con varillas de hierro.

*Segregación en aleaciones de oro.*—Para el metalurgista son muy importantes las segregaciones en las aleaciones Au - Ag - Pb - Zn, que se producen en las plantas de beneficio.

Este fenómeno quedó comprobado por los experimentos siguientes:

Una barra de 120 onzas de peso fue ensayada y se le encontraron 662 partes de oro por cada mil de aleación, en uno de los rincones de la base, en tanto que había sólo 439 en la parte superior.

Otra barra, de 400 onzas de peso fué ensayada y se le encontraron 16.4 por ciento de Pb y 9.5% de Zn; ensayó en el fondo 614 partes de Au por 1.000 y 75.8 partes de Ag, cuando en la parte superior ensayó 525 partes de oro por 90 partes de Ag.

Se hicieron 7 análisis, muestreando la barra en el sentido de la profundidad y se halló una variación en el contenido de oro desde 562 hasta 622 por mil. La segregación fue mayor en otras barras ensayadas.

Experimentos hechos sobre barras de aleaciones de Au-Zn, mostraron que el Au tiende a segregarse hacia el centro de la masa, pero en muy bajo grado. Una esfera de 3 pulgadas de diámetro constituida de 90 partes de Au por 10 de Zn, mostró que su centro era sólo de 1 a 2.5% más rico que su periferia. La segregación del oro en la aleación Au-Pb, es mucho mayor. Una esfera semejante a la anterior, mejor dicho, con el mismo diámetro y con 70 partes de Au por 30 de Cu era 29% más rica en Au al centro de la superficie.

La segregación es todavía mayor cuando se encuentran en la aleación el Zn y el Pb juntos. En una aleación que contenía 15% de Pb y el 15% de Zn, la esfera contenía 657 partes de oro en la superficie y 785 en el centro y 790 en la base; aquí la gravedad intervino en parte.

Si, no obstante, hay Ag presente o se le añade en cantidad tal, que no sea menor a  $2/3$  (Pb + Zn), la segregación no se realiza. Una aleación que contenía 55% de Au, 7% de Zn, 18% de Pb y 20% de Ag resultó homogénea.

### En dónde se encuentra el oro

El oro se encuentra muy distribuído en la Naturaleza; algunas veces se le encuentra en estado metálico acompañado de porcentaje variable de plata, de menores porcentajes de Cu y de otros metales.

Se le encuentra de ordinario en filones y en depósitos aluviales, pero existe muy exparcido en partículas microscópicas en las formaciones rocosas, sin orden alguno. En territorio japonés se encontró un depósito muy rico de oro, sobre un lecho de lignito; en Sur Africa se encontraron depósitos de oro, en lecho de carbón del cámbrico.

Todos los minerales de cobre contienen oro, aun cuando en pequeñas cantidades generalmente.

*Minerales de oro.*—El oro se extrae en grande escala de vetas o filones y de los depósitos aluviales llamados *placeres*.

*El oro en vetas.*—En las vetas o filones, el oro se encuentra en granos, en agujas, en arborescencias o en formas irregulares, y sólo muy raramente en cristales, dentro del cuarzo y muy íntimamente unido a él. El cuarzo, de ordinario constituye la ganga. Algunas veces se le encuentra en laminillas; cuando se le encuentra en piritas forma verdaderas películas en las caras de los cristales. Con todo, de ordinario se le encuentra finamente e íntimamente diseminado dentro de la masa del mineral en partículas casi siempre invisibles.

*Oro aluvial.*—Las arenas, gravas y detritos de antiguos arroyos, que han sido arrastrados de vetas auríferas en desintegración, han sido llamados *Placeres* o aluviones.

El oro de los *placeres* existe en pequeñas cantidades en forma de granos redondeados o perdigones; se los llama *polvo de oro*.

Se han encontrado también masas hasta de 6 kilogramos y aún superiores, de ordinario en formas redondeadas; estos ejemplares raros han sido llamados *chicharrones*.

Los minerales que más comúnmente acompañan al oro, son: la magnetita, las piritas de hierro, la blenda, las piritas de cobre, las piritas arsenicales, la estibina, el platino y los metales de su grupo. De los sulfuros nombrados algunos llevan el oro asociado, especialmente las piritas; también las piritas arsenicales son frecuentemente auríferas.

*Telururos de Oro.*—Los de importancia son los siguientes:

*Calaverita:* Mineral amarillo, bronceado. Se encuentra en Colorado, Méjico y Canadá.

Au . . . . .	40.6 á 42	%
Ag . . . . .	0.8 á 2.2	"
Te . . . . .	el resto.	

*Silvanita*: Se le llama telururo gráfico, porque la reunión de sus cristales semejan signos de escritura.

Tiene este mineral color de latón. Se le encuentra en los mismos locales de la calaverita y en Transylvania. Composición del mineral:

Au . . . . .	25.5 - 26.1	%	} Te . . . . . restos
Ag . . . . .	11.3 - 15	"	
El mineral de las Américas contiene:			
Au . . . . .	5.6 - 7.6	%	
Ag . . . . .	32.3 á 34.2	"	

*Petzita*.—Se le encuentra en los lugares mencionados antes, en Chile y en Utah.

Es un telururo de Ag, en el cual algo de la Ag ha sido reemplazada por Au. Este mineral contiene alrededor de 25% de Au.

*Naggyagita*.—Se le llama también teluro foliado. Es foliado como el grafito. Se le encuentra en Transylvania. Contiene:

Au . . . . .	de 9 á 13	%
Pb . . . . .	54	"
Te . . . . .	restos.	

*Kalgoorlita*.—Color negro ferruginoso. Se le encuentra en Kalgoorlie, Colorado y en Transylvania. Composición de Karloorlita.

Au . . . . .	21 - - 23.9	%
Ag . . . . .	29.3 - 31.9	%
Hg . . . . .	4.7 á 10	%
Te . . . . .	restos.	

La proporción en que entra el Hg. es muy variable.

*Composición del Oro nativo*.—El oro nativo siempre contiene plata, en proporción variable desde 1 hasta 380 por mil. La ley del oro varía también desde 610 (en los Andes), hasta 999 por mil en Africa.

*Tenores de algunos oros*: Aluviones de California ensayados últimamente, 883.6; aluviones del Japón: desde 620 hasta 904 milésimas; Aluviones de Kora, desde 764 hasta 873 mil; en Australia en promedio 950. Vetas del Japón varían desde 566 hasta 926. Aluviones en Colombia, desde 650 hasta 905.5; Filones en Colombia desde 445 hasta 875.



## EXTRACCION DEL ORO DE SUS MINERALES

El oro de los aluviones se extrae con lavadas más o menos simples, tales como: la batea, la tonga, los canalones y por dragado. Estas operaciones conciernen más al minero que al metalurgista, por lo cual se omiten en este tratado.

*Molienda del oro.*—Como el oro se encuentra en minerales o en rocas, está generalmente, más o menos entrelazado y diseminado entre las células del mineral, sólo podrá ser separado triturándolo, moliéndolo, pulverizándolo y tratándolo luégo o simultáneamente con agentes adecuados.

La trituración se efectúa en quebrantadoras o machadoras, de las cuales hay varios tipos en el mercado. Son muy populares la Blake y la Dodge en sus varios estilos. La molienda y la pulverización se efectúan antes o simultáneamente con la amalgamación del oro, en baterías de pisones, en molinos Huntington, en molinos chilenos, en molinos tubulares o en molinos de rulos, cuando se trabaja en seco. Los principales agentes de recuperación del oro son el Hg, el KCN y el Cl.

*Baterías de pisones.*—Es de uso universal en la molienda de minerales auríferos. Siempre que el mineral tenga oro libre en cantidad apreciable puede extraérsele amalgamando en la batería de pisones, excepto en algunos casos especiales.

Del 1 á 5% de piritas de hierros del sistema cúbico, no afecta la amalgamación, pero con un 20% de estas piritas y con un porcentaje mucho menor de marcacita, de galena, de blenda o de compuestos de As y Sb, la amalgamación se retarda y hasta puede impedirse totalmente.

Cuando la batería se usa con el objeto principal de amalgamar, debe usarse golpeo lento de los pisones, una carrera larga de estos, mortero espacioso, malla de orificios pequeños y bastante carga, con el objeto de que la pulpa permanezca durante un tiempo suficiente, para que la amalgamación se efectúe eficazmente.

Los minerales que contienen el oro en granos gruesos, son mejores para la amalgamación.

Cuando el mineral contiene juntamente oro en granos gruesos y en granos muy finos, de ordinario es más efectivo, es decir más económico, emplear amalgamación durante el tiempo justo para que el oro grueso se amalgame y luégo tratar las colas por cianuración, con el objeto de obtener el oro fino.

*La mesa de amalgamación.*—Se sitúa inmediatamente y al frente del mortero, independientemente de la estructura de la batería de pisones, para librarla de las vibraciones provenientes de éstos. Su anchura no debe ser inferior a la del espacio de descargue. Su longitud está comprendida entre 2 y 5 metros; algunas veces llega a 7. Si el oro es grueso, la longitud de la mesa es menor que cuando el oro es de grano fino.

La mesa está formada por una lámina de cobre de  $3/16$  á  $1/4$  de espesor. La inclinación de la mesa varía entre  $1/2$  y  $2\frac{1}{2}$  pulgadas por pié.

La mesa debe ser revestida. Esta operación consiste en cubrirla de Ag. La operación se realiza así:

Primeramente se limpia a perfección con arena fina y papel esmeril, hasta que la placa quede brillante; se baña luégo con una solución de soda, con el objeto de quitarle cualquier porción de grasa. Luégo, con mucho cuidado se cubre de mercurio con la ayuda de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  o de cianuro de potasio. A manera de ceba, es decir, con el objeto de que la amalgamación principie, sin pérdida de tiempo, se le riega a la mesa un poco de amalgama de plata y raramente en algunas ocasiones, amalgama de oro.

Las placas electro-plateadas, han entrado en uso con gran profusión; son mejores que las placas de cobre, porque desde un principio adhieren al oro y porque es más fácil limpiarlas.

También están en uso las placas de metal Muntz (Cu 60% y Zn 40%). Estas placas también adhieren el oro desde el principio de la operación y se dejan limpiar por solo frotamiento, pero no logran adherir sino una película muy fina, de suerte que hay que hacerla limpiar muy frecuentemente.

La amalgamación de una placa nueva de metal Muntz, se efectúa así: Se limpia la superficie de la placa con arena fina y limpia, luégo se lava con una solución 1 á 6 de ácido sulfúrico, para obtenerla químicamente limpia; después se agrega mercurio en un solo lugar, poco a poco, hasta que se note que la amalgamación principia; el mercurio se agrega frotándolo con un pedazo de franela. Cuando la placa retiene el mercurio, se imprime a la franela un movimiento circular amplio. Una vez iniciada, la amalgamación continúa sin trabajo alguno.

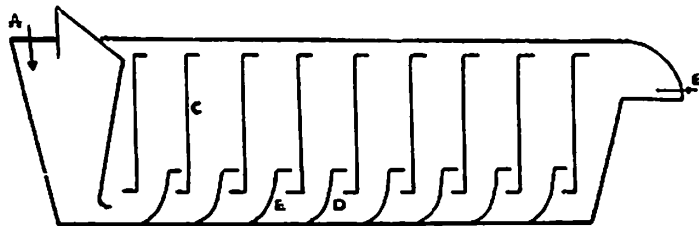
Ya en trabajo, las placas se acondicionan más o menos cada 4 horas. Toda la operación se reduce a limpiar muy bien con agua la placa amalgamada; a limpiarla con un cepillo brusco o con una escobilla de goma o con una pieza de caucho duro, algunas veces con ayuda de KCN; agregarle mercurio si es necesario, y a quitarle un poco de amalgama. El abastecimiento de agua debe ser tal, que la pulpa corra fácilmente, haciendo una serie de ondas suaves, sin formación de parches o acumulaciones de arena. La superficie de las placas debe ser muy regular y debe impedirse que éstas permanezcan con algunos puntos secos, pues el oro pasaría por ellas sin amalgamarse.

El tiempo de acondicionamiento está regulado por la riqueza del mineral. Debe tenerse gran cuidado acerca de la cantidad de mercurio empleada.

En la amalgamación de las placas como en los subsiguientes acondicionamientos debe emplearse sólo la cantidad necesaria, para obtener una superficie de apariencia pastosa.

En la parte baja de la última placa de amalgamación, debe colocarse una trampa de mercurio a fin de recoger el mercurio o la amalgama que inevitablemente se escapan de la mesa.

*Trampas de mercurio y amalgama.*—Después de las placas es indispensable utilizar un aparato, llamado trampa, para recoger las partículas de mercurio y amalgama, que, como se dijo, se escapan de la mesa. La trampa (Fig. 1) consiste en una vasija en donde la pulpa cae; cuando la trampa se llena, rebosa con fuerza tal, que las partículas livianas se escapan con el líquido, en tanto que las pesadas como el oro, el mercurio y la amalgama, caen al fondo y allí permanecen.



TRAMPA DE MERCURIO

*La Limpia.*—En términos generales esta operación se realiza dos veces por mes, pero no hay regla para fijar el tiempo de cada una, pues depende de la riqueza del mineral. Las placas se limpian removiendo muy cuidadosamente la amalgama con rastrillo o escobillas de goma, de caucho o de hierro. Después de estas operaciones, vuelven a revestirse las placas. Usualmente la amalgama se obtiene mezclada con arena, pirita, fragmentos de hierro, etc.; en este caso debe tratarse en una batea de amalgamación o en una parrilla de hierro giratoria, antes de llevarla a la destilación.

La amalgama sucia se revuelve con la cantidad de mercurio suficiente para ser fluída y con bastante agua, para formar una pulpa fina. El tiempo de la operación es de 2 horas más o menos. El contenido de la batea se vacía y se lava perfectamente. La amalgama se despoja del mercurio sobrante como quedó dicho atrás; después de esta operación debe contener de 30 a 45% de oro.

En los beneficios grandes se destila la amalgama en cilindros, de los cuales se hablará al tratar de la plata; pero en los pequeños, se emplean retortas de hierro pequeñas, en forma de marmitas, a las cuales se les acopla un tubo de condensación.

*Pérdidas en la amalgamación.*—La pérdida de mercurio es muy variable; fluctúa entre 8 y 30 gramos por tonelada de mineral tratado. Esta pérdida se debe principalmente a los fenómenos de atomización y enfermedad del mercurio. Se dice que el mercurio se atomiza, cuando se divide en partículas tan pequeñas que semejan arena; en este estado no amalgama y ni siquiera las

partículas pueden reunirse. Es causada por demasiado golpeo o por demasiada intensidad en los golpes. Se dice que el mercurio se enferma cuando está en un estado semejante al anterior, aun cuando en glóbulos no tan pequeños, pero recubiertos o atacados de ciertas sustancias que les impiden amalgamar; el talco, el óxido de magnesio, la galena, las piritas arsenicales, la estibina y la grasa, son sustancias que causan la enfermedad del mercurio. El mercurio cuando está impuro, sobre todo si contiene metales básicos, el plomo con especialidad, está muy propenso a enfermarse.

El mercurio atomizado y el enfermo se van fácilmente con las colas. Los principales remedios para evitar las pérdidas por las causas anotadas, son:

- 1.—Quitar en el molino, las grasas y los aceites.
- 2.—Para revivir el mercurio debe usarse amalgama de sodio.  
Si el mineral tiene sulfuro de antimonio, la amalgama de sodio no tiene ningún efecto.
- 3.—El mercurio puede limpiarse sumergiéndolo en una solución 1 a 3 de ácido nítrico y sacudiéndolo de tiempo en tiempo o haciendo burbujear aire a través de él.
- 4.—Si está muy impuro, el mercurio debe tratarse como se aconseja en 3, y luego destilarlo con cal y limaduras de hierro; con nitrato de sodio o de potasio, o con peróxido de sodio.

*Pérdidas de oro.*—Las pérdidas de oro se deben principalmente a las siguientes causas:

- 1.—Por el atomizamiento del mercurio, ya que este contiene oro.
- 2.—Por las pérdidas mecánicas de amalgama.
- 3.—Por las partículas gruesas de mineral que no sueltan el oro.
- 4.—Por oro flotante, es decir, que está muy finamente dividido.
- 5.—Por el llamado oro impregnado, que por ventura no es muy común.  
Este oro se resiste al mercurio, porque se encuentra recubierto de ciertas sustancias neutras.
- 6.—Por las pérdidas debidas a las piritas y a los telururos.
- 7.—Por las pérdidas en las colas.

Estas pérdidas pueden evitarse o disminuirse, así:

- 1.—Use mercurio limpio y activo.
- 2.—La adición de mercurio en cantidades adecuadas, para que la amalgama no esté demasiado seca y partículas finas pueden fugarse, y para que no se acumule en montoncitos sobre las placas.

- 3.—El empleo de trampas de mercurio.
- 4.—Moliendo o triturando más fino el mineral.
- 5.—La instalación de mesas o placas de amalgamación, con caídas entre ellas, cuando se produce oro flotante.
- 6.—Las pérdidas por fugas de oro en las colas, pueden reducirse a un mínimo, tratando las colas con cianuro.

*Amalgamación en bateas y otros sistemas de beneficio.*—Estos se estudiarán más cuidadosamente al tratar de la extracción de la plata por amalgamación.

### Clorinación

El proceso de clorinación se basa en el hecho de que el cloro tiene una gran afinidad por el oro, con el cual se combina muy rápidamente formando cloruro de oro, muy soluble. La solución puede separarse del residuo por sedimentación y filtración, y el oro contenido en la solución es precipitado con reactivos adecuados.

La clorinación tuvo mucho auge, pero hoy día va siendo reemplazada por la cianuración.

Una de las principales desventajas de la clorinación, comparada con la cianuración, es el costo de la tostión preliminar que es siempre necesaria cuando va a clorinarse. Los trabajos recientes, hechos en Sur Africa y en otros lugares han mostrado, que los minerales y concentrados de minerales, cuando se reducen a lodos, cuentan por cianuración gran porcentaje de su oro, sin necesidad de tostarlos.

La clorinación se efectúa por los métodos siguientes:

- 1.—El proceso del tanque o proceso Plattner, en el cual el mineral se humedece y se trata con gas cloro en unas tinajas.
- 2.—El proceso de barril o proceso Thies, en el cual el mineral mezclado con agua se coloca en un barril giratorio en donde es atacada por el cloro, que se produce dentro del mismo barril.
- 3.—El proceso de solución en tanque. El mineral se coloca en tinajas o tanques, en donde se le somete a la acción de soluciones diluídas de cloro.

Las operaciones requeridas son las siguientes:

- 1.—Molerlos, si se trata de minerales.
- 2.—Tostarlos, sea con sal común o sin ella.
- 3.—Clorinar y lixiviar.
- 4.—Precipitar el oro en forma metálica o como sulfuro.
- 5.—Conversión del oro precipitado en barras.

*Molienda.*—El mineral molido debe tener una finura suficiente para que todo el oro quede expuesto a la acción del cloro, pero no debe ser tan fino que impida la lixiviación rápida.

La molienda en seco es ventajosa cuando el mineral debe ser tostado. El mineral se muele para que pase entre 15 y 30 mallas.

Es buena práctica triturar en una quebrantadora hasta tener partículas de 1/2 pulgadas, triturar luego hasta obtener la finura deseada.

*Tostión.*—El objeto de la tostión es expeler el azufre, el arsénico y el antimonio y otras sustancias volátiles presentes en el mineral, oxidar los metales básicos y, en cuanto sea posible, impedir que, a excepción del oro metálico, se combinen con el cloro. Minerales que contienen caliza, carbonato de magnesio, galena y piritas de cobre, deben tostarse con NaCl para convertir los metales en cloruros. Si hay plata presente que deba ser beneficiada, la tostión con sal es necesaria a fin de convertirla en cloruro y poderla lixiviar con hiposulfito de sodio.

Cuando el mineral requiere solamente tostión oxidante, sin adición de sal, las pérdidas de oro son pequeñas, con tal que se tome bastante cuidado para evitar la volatilización, por una gran temperatura.

Mientras mayores sean las cantidades de metales básicos que hay en el mineral, mayor será la pérdida de oro. Una temperatura muy alta ocasiona mayor pérdida que una temperatura baja y prolongada.

Cuando se hace imprescindible la tostión con sal, las pérdidas de oro son bastante mayores.

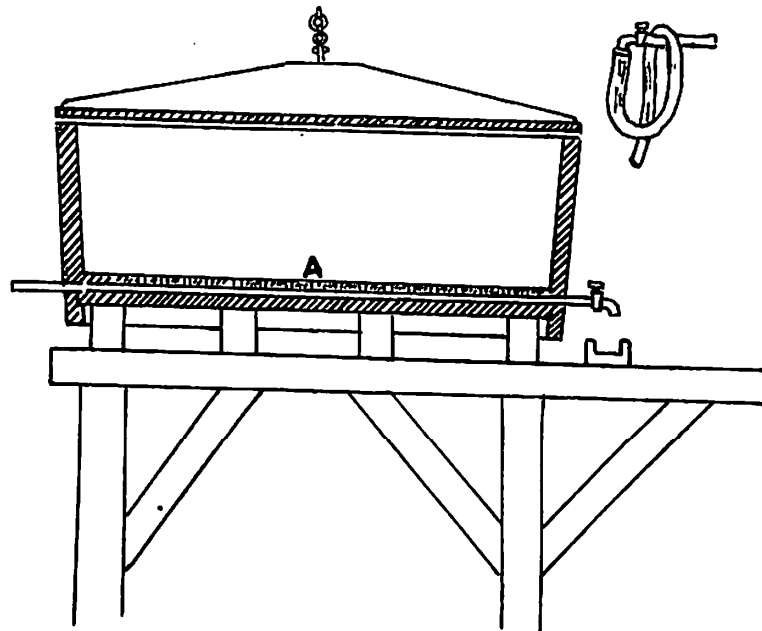
La sal debe agregarse en tan pequeña cantidad como sea posible, y cuando la tostión se halle tan avanzada que ya no queden sulfuros; obrando así, se podrá bajar la temperatura del horno después de agregar la sal, la cual ayuda a disminuir las pérdidas. A pesar de todas las precauciones, se tendrá siempre algunas pérdidas, especialmente, si hay cobre presente, pues el cloruro de cobre al volatilizarse, arrastra consigo el oro.

Los hornos empleados son aquellos que convienen a toda tostión clorurante.

*Proceso Plattner.*—El procedimiento Plattner es conveniente especialmente en los montajes pequeños. Consiste, ordinariamente, en las siguientes operaciones:

- 1.—El mineral, después de tostado, se humedece levemente con agua y se echa en un tanque de madera con fondo falso de tablas perforadas que soportan un filtro o lecho de grava o cuarzo molido. El tanque se cierra luego con una tapa que se ajuste a los bordes superiores del tanque. El cloro se genera en vasija separada y se introduce en el tanque por el fondo, haciéndolo pasar por los huecos del fondo falso.

- 2.—Cuando el mineral está impregnado totalmente de Cl y ha permanecido de 24 a 48 horas, se agrega agua que disuelve el cloruro de oro.
- 3.—La solución pasa a un sedimentador y, a través de un filtro; de aquí va a una tina en donde el oro se precipita con  $\text{FeSO}_4$ .
- 4.—Cuando se ha obtenido una buena cantidad de precipitado, se recoge, se seca, se mezcla con flujos y se funde para obtener barras.



## 2. TANQUE DE CLORINACION

El tanque (Fig. 2) se construye con tablonces de pino de 2 pulgadas, y se revisten con brea o con asfalto. Tiene de 2 a 5 mts. de diámetro, y de 1 a 1,2 mts. de altura, con capacidad entre 3 y 4 toneladas, respectivamente.

El falso fondo consiste en tablas de 1 pulgada, perforadas con huecos de 1/2 pulgada, soportadas en listones de 1 pulgada. Sobre ellas se forma el filtro con guijo de cuarzo o con cuarzo molido; su espesor va de 6 a 12 pulgadas; se principia con una capa de material grueso y se va disminuyendo el tamaño paulatinamente; la capa superior la forma una de 2 pulgadas de espesor de arena fina. Sobre la arena se coloca, en marco especial una tela de cañamazo o una estera de coco (fibra) para evitar que el oro se mezcle con el material del filtro.

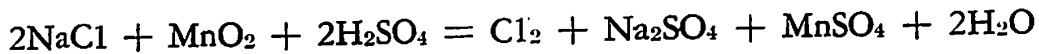
Bajo el lecho del filtro hay dos aberturas: una al lado, para la admisión del cloro; la otra, al lado también o en el fondo, para la salida de la solución.

Al cargar el tanque debe procurarse que el mineral esté suficientemente seco para que absorba la humedad del filtro; de otro modo, las capas inferiores de mineral estarán tan húmedas que estorbarán el paso del cloro. Cuando el mineral se apelmaza, debe pasarse por un tamiz (de 4 a 6 mallas)



para devolverle la porosidad requerida. El tanque se llena hasta unos 15 cms. bajo el borde. La tapa se ajusta luego al borde del tanque con arcilla; se previene el agrietamiento de la juntura con trapos húmedos. El cloro se introduce luego hasta que haya exceso, lo cual se reconoce ensayando con amonio, mediante una pequeña abetrura que tiene la tapa. El tiempo de tratamiento es de 5 a 8 horas.

El generador de Cl es un vaso de Pb colocado en baño de arena o en baño de agua, que es mejor, puesto que la temperatura no debe ser mayor de 90°C. El vaso está provisto de un agitador cuyo eje pasa por el centro de la tapa del vaso, que se fabrica de cobre plumado. La tapa y el eje deben tener ajustes a prueba de escape del gas. La carga para 3 toneladas de mineral, según Rose, debe ser de 20 a 24 libras de sal, 15 a 20 lbs. de MnO<sub>2</sub> (70%), y 35 lbs. de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> de 66 Be° (densidad 1.842) diluido con la mitad de su peso en agua. El gas debe pasarse por una botella lavadora antes de ser introducida en el tanque. La reacción es la siguiente:



Después de que la introducción del gas se detiene, la carga permanece en quietud de 24 a 48 horas; en algunas partes introducen gas nuevo, unas pocas horas antes de filtrar.

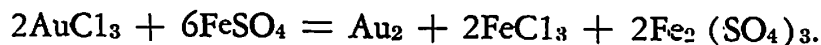
Pasado el tiempo de quietud, se levanta la tapa y se echa el agua en el mineral, muy cuidadosamente; esta operación se hace valiéndose de talegos, a fin de que el agua se reparta uniformemente; el agua debe rebasar en tres pulgadas, más o menos, el nivel del mineral. Se deja en quietud durante un tiempo entre 1/2 y 1 hora, después del cual se deja salir la solución; se echa agua poco a poco para mantener el nivel primitivo. La filtración se continúa hasta que el FeSO<sub>4</sub> no de señales de oro al tratar con él, la solución.

La solución pasa a una tina de sedimentación, y luego, a travez de un filtro de tela, al tanque de precipitación. Este tiene de 1.5 a 2.5 mts. de diámetro y 1 mt. de profundidad; hay tendencia a construirlo de mayor diámetro abajo que arriba para evitar que el oro se precipite sobre las paredes.

De ordinario el FeSO<sub>4</sub> se introduce en el tanque tan pronto como la solución principia a entrar en él.

La solución se agita vigorosamente, a fin de facilitar la sedimentación del oro.

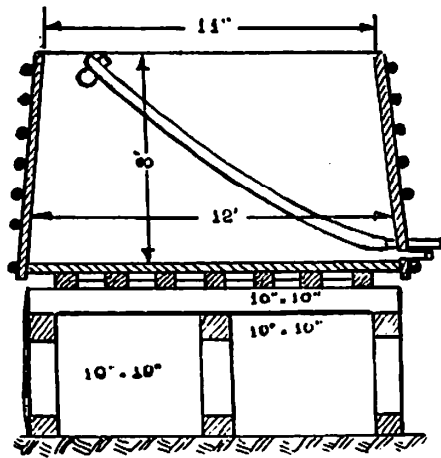
La reacción es la siguiente:



Se añade sulfato ferroso hasta que no se forme coloración en la solución. El oro se deja en sedimentación durante un tiempo, entre 24 y 48 horas y el líquido es luego extraído mediante un tubo de caucho que unido a un flo-



tador especial, mantiene la entrada del líquido muy cerca a la superficie (Fig. 3).



- TANQUE DE PRECIPITACION -

Es prudente pasar el líquido por un filtro de carbón para atrapar cualquier partícula de oro que no se sedimentó.

El precipitado no debe extraerse mientras no haya una cantidad suficiente; esto sucede después de que se ha precipitado el oro de varias cargas.

Cuando se hace una *limpia* el precipitado se extrae y se pasa por un filtro prensa; si la cantidad es pequeña se emplea un filtro de papel.

Cuando hay óxidos o sales básicas de hierro, se trata con ácido clorhídrico.

Después de secar el precipitado se funde con bórax, NaCl, KNO<sub>3</sub>, etc.

Por este sistema, cuando se trabaja con cuidado y cuando no hay sustancias que perturben el tratamiento, se extrae de 90 a 95% del oro.

Si hay mucha plata presente se le puede separar y coleccionar lixiviando los residuos con hiposulfito de sodio. En algunos casos la plata se extrae del mismo modo, inmediatamente después de la tostión, antes de que el mineral sea tratado con cloro, y después de que se ha secado parcialmente para cargar el tanque de clorinación.

Si no se quiere generar el cloro en la mina, se puede emplear cloro líquido que se compra para el efecto en el mercado.

(Continuará)