

Análisis

TESIS

PRESENTADA

EN LA ESCUELA NACIONAL DE MINAS

POR

CARLOS CUTIERREZ

PARA RECIBIR EL GRADO DE

INGENIERO DE MINAS

PRESIDENTE DE TESIS

SR. TULIO OSPINA

EXAMINADORES

Dr. Enrique Denéve.....	Profesor de Química y Física.
Dr. Enrique Ehrensperger....	— Metalurgia.
Dr. Julio E. Botero.....	— Economía Política.

DEDICADA

AL SR. PASCUAL CUTIERREZ

Administrador de la Casa de Moneda y Gerente de la Oficina de Apartado
y Afinación de Metales de Medellín.

MEDELLÍN, MARZO DE 1916

ESTUDIO

sobre afinación de oro y plata en la Casa de Moneda de Medellín; y de las condiciones económicas de la moneda y su acuñación en Colombia.

INTRODUCCION

Es costumbre en la Escuela Nacional de Minas de Medellín y seguida por su Consejo Directivo, señalar a sus alumnos como materia para examen de grado algún estudio relacionado con trabajos seguidos en su profesión y que, ilustrados con observaciones prácticas sirvan de algún provecho a la Escuela y al País en general.

Encargado de la Oficina de Apartado y Afinación de Metales de la Casa de Moneda de Medellín desde fines del año de 1914 y ya terminados los trabajos, al menos temporalmente, me presento ahora, sin pretensión alguna, a hacer una ligera descripción de los trabajos allí verificados y extenderme un poco a hablar de algunos otros sistemas, en mi concepto adaptables entre nosotros, dadas las circunstancias especiales en que estamos en materia de industrias químicas.

No pretendo con este trabajo, aprovechándome del hecho de ser nuevo entre nosotros, hacerme notar, siguiendo largas descripciones científicas, inútiles a mi modo de ver ya que pueden encontrarse muy completas en los libros.

Quiero solamente, para corresponder como es debido a quienes me han confiado tan honroso cargo, hacerles cesión de mis pocos conocimientos prácticos adquiridos durante este tiempo y ayudar así, en la medida de mis fuerzas a quien tarde o temprano toque reemplazarme, pues casi solo como me ha tocado luchar, sé muy bien de cuánto provecho resulta a veces la menor observación, que de no recibirla, podría costarnos o mucho dinero o muchos días de estudio.

He agregado al final algunas consideraciones económicas sobre nuestra moneda, porque este punto se relaciona íntimamente con el funcionamiento de la Casa de Moneda de Medellín.

“OFICINA DE APARTADO Y AFINACION DE METALES”

Encomio mereció el Dr. Clodomiro Ramírez, entonces Gobernador del Departamento, por idear que la afinación de metales corriera a cargo de una entidad particular y no de la Casa de Moneda. De allí la creación de una Sociedad Anónima, nombrada “Oficina de Apartado”, de la que el Departamento formó parte suscribiendo un 25 % de sus acciones. Fue llamado para ocupar la Gerencia el Sr. Pascual Gutiérrez, quien en todo este tiempo se ha hecho merecedor de alta gratitud por su valiosa y desinteresada cooperación.

Esta Oficina, aunque instalada en la Casa de Moneda para mayor facilidad, funciona con personal propio y paga arrendamiento por el lugar que ocupa.

PRIMERA PARTE

CAPITULO I

PURIFICACION DEL ORO FUNDIDO POR LA ACCION DEL GAS CLORO

Aplicación.—El empleo del gas cloro para la separación del oro de la plata y metales bajos fue considerado desde la fundación de la Oficina de Apartado como el más adaptable entre nosotros por sus muchas ventajas de economía y fácil manejo, razones por las cuales me ocuparé brevemente de él.

Se basa este sistema en la propiedad del oro, por todos conocida en la química, de tener afinidad muy débil para el cloro a alta temperatura, toda vez que el cloruro de oro se descompone totalmente por la única acción del calor.

Ahora, como otra cosa totalmente distinta sucede con la plata y metales ordinariamente ligados al oro, el empleo del cloro ofrece un método tan sencillo como cierto de separación.

Este sistema descubierto en 1838 por *Mr. Lewis Thomson* sólo fue puesto en práctica por *Mr. Francis B. Miller*, ensayador de la Casa de Moneda de Sydney, Australia, de la manera siguiente:

Trataba oro argentífero de 0,850 a 0,900 en crisoles de arcilla revestidos interiormente de bórax fundido para evitar la absorción del cloruro de plata.

La tapa del crisol, convenientemente ajustada, daba paso a un tubo de arcilla u otra materia refractaria de $\frac{1}{2}$ ” de diámetro interior. La parte superior de este tubo, que debe quedar libre del calor, se conecta por medio de un tubo de caucho o de plomo con el generador de cloro, generador que debe estar calentado al baño de María.

Este gas cloro, sin previa purificación, para ser llevado al crisol necesitará de una presión que lo haga capaz de vencer la columna

de oro fundido. Tal presión se regulará disponiendo en el vaso generador, además del tubo de salida, otro que servirá de tubo de seguridad y de una columna proporcional a la columna de metal fundido que deba atravesar, la cual la constituye el ácido clorhídrico con que se llena el tubo. Generalmente se admite que para vencer la resistencia ofrecida por una columna de 1" de altura en oro fundido, es necesaria otra de 16 a 18" en el tubo de seguridad, y, por lo tanto, según sea la cantidad de metal fundido, se aumentará o disminuirá aquél.

Antes de hacer atravesar la corriente de gas debe expulsarse el aire contenido en el generador, que de nó, ocasionaría una violenta ebullición que podría acarrear grandes pérdidas. Nada de esto sucede con el cloro, el cual es absorbido instantánea y totalmente por la masa fundida, siempre que no contenga gases extraños.

La buena marcha de esta operación debe ser cuidadosamente vigilada y regulada por medio de ensayos sucesivos tomados de la masa fundida y sacados fuera por medio de un tubo de arcilla empleado a manera de pipeta.

Quando por el estudio de estas muestras se vea que está terminada la operación, se retira el crisol del horno y se deja enfriar hasta que el oro, ya solidificado, permita verter el cloruro de plata, aún líquido, a moldes especiales, donde se le deja enfriar.

El oro así obtenido, es de nuevo fundido para convertirlo en barras listas ya para ligar y amonedar.

Como el cloruro de plata resultante arrastraba consigo una parte aunque pequeña del oro, el que parcialmente se separaba por nueva fundición, era probable que el restante existiera en forma de cloruro de oro. Pensando en la necesidad de un reactivo que redujera el cloruro de oro y no el de plata, lo encontró Miller en la misma plata, como pudo comprobar por el siguiente experimento:

Tomó una porción de cloruro de plata, de 40 gramos, producido por la acción del cloro en el oro argentífero fundido y que contenía una pequeña proporción de oro; fundió luego este cloruro en un crisol de arcilla, preparado con bórax y puesto al rojo durante 5 minutos, después de lo cual agregó 15 gramos de carbonato de potasio al crisol que dejó en el horno todavía durante 20 minutos. Por la acción del carbonato de potasio, una pequeña parte de cloruro era reducido a plata, esta plata más densa, al irse al fondo, reducía el cloruro de oro a oro metálico. Retirado el crisol del horno, resultó un botón de oro argentífero de 17 gramos de peso y que contenía en oro 9 gramos y en plata 8. En cuanto al cloruro de plata resultante se halló completamente libre de oro.

APARATOS NECESARIOS AL EMPLEO DE LA CLORINACIÓN EN GRANDE ESCALA

I. Hornos.

Pueden adoptarse perfectamente nuestros hornos comunes de fundición y esta operación se conduce de manera idéntica a como se procede entre nosotros.

II. Crisoles.

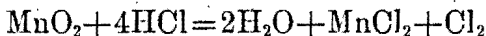
Deben ser de arcilla y capaces para tratar de 20 a 25 libras de liga en cada operación. Antes de usarlos deben prepararse con un baño acuoso de bórax en caliente, dejado allí durante 10 minutos pasados los cuales se vierte la solución y se seca el crisol. Al usarlos deben ir colocados entre otros de plumbagina para prevenir las pérdidas en caso de rotura. El crisol debe ir cuidadosamente cubierto con tapa de arcilla y esta tapa perforada por dos orificios de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada de diámetro, que darán paso, uno de ellos al tubo de gas, y el otro, cerrado de ordinario, servirá para tomar muestras y vigilar la operación.

III. Tubos de arcilla.

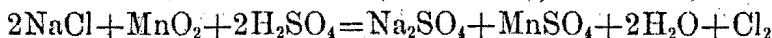
Suelen ser hechos expresamente por la "Battersea Crucible Works" y tienen dimensiones aproximadas de 22" de longitud, $\frac{1}{2}$ " de diámetro interior y $\frac{3}{16}$ " de grueso. Estos tubos se adelgazan hacia la parte superior; en la parte inferior, a $\frac{1}{2}$ " de su extremo están perforados por seis agujeros laterales destinados a dar paso al cloro. Esta parte del tubo debe calentarse muy bien antes de usarse.

IV. Generadores de cloro.

Los mejores son hechos de barro y barnizados, con capacidad de 35 a 40 litros cada uno y llevan 3 bocas. La primera de ellas, bien tapada de ordinario, sirve como boca de alimentación; en la segunda va colocado el tubo de seguridad de 8 a 10 pies de alto, hecho con tubos de vidrio unidos con otros de caucho; y por último la tercera destinada a dar salida al cloro. En el fondo del jarro un tendido de cascajo y otro de arena gruesa servirá a manera de filtro para la solución que ha de llenar el tubo de seguridad. Sobre este tendido de arena se colocan unos 20 kilogramos de bióxido de manganeso en pedazos pequeños y libros de polvo que obstruya el lecho de arena, restando ya únicamente agregar ácido clorhídrico que es el otro ingrediente para la producción de cloro. La reacción que tiene lugar entonces bajo la acción del baño de María es la siguiente:



Como entre nosotros el precio del ácido clorhídrico es bastante alto, podría con excelentes resultados ser sustituido por:



La cantidad de bióxido de manganeso antes indicada bastaría para muchas refinaciones sucesivas con sólo agregar la cantidad necesaria de ácido clorhídrico o su suplente antes indicado.

Cuando se disponga de un generador para cada horno, el gas cloro puede ser conducido de éste al tubo de arcilla refractario, por medio de tubos de caucho bien asegurados y tapados en sus extremos por medio de un cemento especial que se prepara disolviendo caucho en cloroformo. Tornillos compresores o clampadores de tubos servirán para regular la cantidad de gas, pudiendo impedirla totalmente cuando la operación esté terminada.

MODO DE CONDUCIR LA OPERACIÓN

Antes que todo deben calentarse los crisoles lentamente hasta llevarlos al rojo oscuro, y luego el oro será agregado y puesto al fuego hasta alcanzar su completa fusión y una vez verificada ésta se añaden 45 a 50 gramos de bórax fundido y pulverizado, sobre la superficie. Después de esto, el tubo de arcilla, antes calentado, será introducido a la masa fundida teniendo la precaución de desclampar los tornillos y dar paso al gas con objeto de evitar la obstrucción del tubo, el que deberá bajarse poco a poco hasta el fondo del crisol. El cloro será totalmente absorbido sin dar origen al desprendimiento de burbujas. Con objeto de hacer continua la producción de cloro deberá agregarse ácido clorhídrico de tiempo en tiempo.

Si la liga que se afina contiene algunos de los llamados metales bajos, se notará al empezar la operación un desprendimiento de humos, formados por los cloruros volátiles de aquellos metales; humos que serán particularmente densos si el plomo se encontrase en la liga. La presencia de estos cloruros de plomo podrá además comprobarse si al exponerles un objeto frío hubiere formación de un sublimado blanco. Pronto terminará el desprendimiento de estos gases para dar luego comienzo a la formación del cloruro de plata.

Cuando después de una o una y media horas empiece a notarse el desprendimiento de un vapor luminoso de color rojizo o amarillo moreno producido por el escape de cloro libre, podrá retirarse el crisol para proceder de la manera que queda dicha atrás.

Para la reducción del cloruro de plata, libre ya de oro, podrá emplearse la acción del zinc en solución acidulada con ácido sulfúrico, pues aunque existen métodos más científicos, ninguno hay que ofrezca las ventajas de éste tratándose de pequeñas cantidades.

VENTAJAS QUE OFRECE ESTE SISTEMA

Por su poco costo de instalación principalmente, y otras razones ya enumeradas, fue el primer sistema en que se pensó para su adaptabilidad en la Oficina de Apartado de esta ciudad.

Para su ensayo se procedió entonces a preparar todo lo necesario, pero se tropezó desde un principio con la dificultad de encontrar un tubo que reemplazara al de arcilla. Con tal objeto se hicieron algunos de mezcla de pasta de crisol y se procedió a su ensayo siguiendo en un todo las indicaciones del caso, pero desgraciadamente una y otra vez los tubos se rompían hasta que hubo necesidad de suspender mientras se pedían a Inglaterra a la Casa fabricante. En esto se pensaba cuando se tuvo conocimiento de la existencia de una Planta Electrolítica de Apartado en la Casa de Moneda de Bogotá, se entró en arreglos para adquirirla y al fin se compró en remate público.

Más tarde se pensó de nuevo en la aplicación del cloro y aun se pidió a Londres una instalación completa. Ignoro por qué motivos no se hizo el despacho entonces pues sólo enviaron algunos datos. En éstos daban el precio de 70 £ para una instalación completa, y si entonces no se repitió el pedido se debió al alto tipo del cambio que hacía entonces imposible la amonedación de oro, circunstancia que existe hoy todavía.

Mientras más a fondo he tenido ocasión de estudiar este sistema de afinación, más y más he venido a convencerme de las incomparables ventajas que ofrecería su empleo entre nosotros. Ahora, si bien es cierto que este sistema está hoy día casi en desuso, esto no dice nada, pues también fue en las Casas de Moneda de Bogotá y Medellín donde último se empleó el antiquísimo y rudimentario método de *cementación* para la afinación de oro. El que un sistema sea más o menos moderno, científico y económico en Europa, no significa nada para nosotros; pues si allí disponen, por ejemplo, de ácido nítrico a precio de 5 ó 6 centavos la libra y a nosotros nos cuesta a 60 centavos, esto lo haría muchas veces inaplicable entre nosotros.

Se emplea también este método de clorinación en muchas Casas de Moneda para limpiar el oro de algunas impurezas que le hacen perder su maleabilidad. Para esto bastará hacer pasar una corriente de gas cloro por la masa de oro fundida, y cuando a los pocos minutos se note que ha terminado el desprendimiento de los cloruros volátiles puede retirarse el crisol y el oro estará ya libre de dichos metales.

CAPITULO II

SEPARACIÓN DE PLATA Y COBRE POR MEDIO DE AZUFRE Y HIERRO

Este sistema fue empleado por algunos días en la Oficina de Apartado para la afinación de plata de 0,835 de ley, en reemplazo de la Electrolisis que por causas especiales indicadas más adelante resultaba muy costosa; pero no obstante su económico tratamiento no dio el resultado esperado por lo que hubo de desistirse de él.

Debido a una propuesta presentada por el Sr. Ernesto Vogt (Director de las Fundiciones de Sitioviejo, "El Zancudo") en que ofrecía encargarse de introducir un método de afinación de plata a un precio muy bajo, se procedió a un ensayo práctico.

Tratábase de la fundición con azufre y formación a mates con adición de hierro metálico.

Según dice el Dr. Percy en la "Metalurgia de la Plata", la afinación por azufre era ya seguida en París desde el año de 1700 con muy buenos resultados y empleada para afinar ligas de monedas de 25 a 30 $\%$ de plata, porcentaje que era elevado después de repetidas fundiciones a 75 $\%$. La nueva liga obtenida según dice el Dr. Percy apenas era *tolerablemente maleable* debido a la presencia de azufre en forma de sulfuros. El *regulus* o sulfuro de cobre resultante arrastraba consigo al rededor de un 11 $\%$ en plata.

De las fórmulas químicas Ag_2S y CuS con relación a sus pesos atómicos podemos deducir la cantidad o peso de metal combinado con cada gramo de azufre; así para la plata tenemos:

$$\frac{108 \times 2}{32} = 6,75 \text{ gramos por cada uno de azufre y para el cobre}$$

$$\frac{63}{32} = 1,98 \text{ gramos.}$$

Con tales datos, fácil sería averiguar la cantidad de azufre necesaria para elevar la ley de cada kilogramo de liga de 0,835 a 0,900 si se tratara de una reacción cuantitativa, pero como ocurren naturalmente muchas pérdidas por evaporación, era necesario agregar un exceso de azufre que era determinado por ensayos prácticos.

El resultado obtenido en la fundición, no dejó nada que desear en cuanto a fácil tratamiento, ley de la plata resultante y costo de la operación.

Tratábamos en un crisol de plumbagina número 35 cantidades de 20,000 gramos de plata, los que sin necesidad de ser granulados por estar en monedas, eran íntimamente mezclados con 1,300 gramos de flor de azufre. Una vez bien tapado el crisol, era sometido a la acción de un fuego lento durante 20 ó 25 minutos, y luego avivado hasta obtener la completa fusión del metal. En seguida por la acción del hierro, agregado en exceso, se reducían de nuevo parte de los sulfuros formados. El tiempo mínimo que el hierro debía estar allí era de 15 minutos, pasados los cuales su acción era casi nula.

El resultado de la operación, según datos tomados de mis apuntes, fue el siguiente:

Agregaba 20,000 gramos de plata en moneda de 0,835 en contacto con 1,300 gramos de azufre, y obtenía el siguiente resultado en tres fundiciones:

NUMERO DE LA BARRA	PESO EN GRAMOS	LEY EN PLATA	PLATA PURA EN GRAMOS
13	17.585	0,911	16.019
12	16.565	0,937	15.521
14	17.775	0,897	15.944

Aunque parezca raro, sucedía, según se ve de lo anterior, que tratando las mismas cantidades de plata y azufre resultaban barras de muy distinta ley.

Según se avivaba más el fuego al principio de la operación, ocurrían mayores pérdidas de azufre por evaporación y resultaban, por consiguiente, barras de menor ley en plata.

Aunque a primera vista así parece, no era conveniente elevar la ley a 0,937 o más, como podría hacerse con mayor adición de azufre, pues sucedía que mientras más subía esta ley, mayor cantidad de plata era arrastrada en solución con los mates; vemos, por ejemplo, que habiendo tratado en las barras 13 y 12 con 16,700 gramos de plata pura no contienen sino 16,019 y 15,521 respectivamente, y por tanto mientras en la número 13 sólo un 4% de plata pura pasaba a los mates, en la número 12 llegaba a 7,3%.

En cuanto a estos mates resultantes, con 12 a 14% en plata, 35 a 45% en cobre y un peso de 4 a 5 kgs. para cada fundición eran cuidadosamente recogidas para la total separación de la plata y el cobre.

El resultado obtenido no podía ser mejor; en un solo horno y por día podían prepararse al rededor de 120 kilogramos a la ley de 0,900 con gastos casi nulos. Pero la adaptabilidad de esta liga a la amonedación no correspondió a este resultado. Los rielos obtenidos, de un color negruzco, se abrían en todos sentidos al laminarlos. El concepto del Dr. Percy de ser "tolerablemente maleables" me parece muy benigno, al menos aplicado al caso nuestro.

Como la plata fundida disuelve sulfuro de plata en distintas proporciones y este sulfuro es el que hace agria la plata, a encontrar el reactivo necesario para la reducción total del sulfuro se limitaba entonces el problema.

Dice el Dr. Percy:

“*Sulfuro de plata y hierro.*—El sulfuro de plata es reducido totalmente por hierro metálico a la temperatura del rojo con la formación de sulfuro de hierro, pero en este caso es necesario: fusión prolongada, frecuente movimiento y exceso de hierro. Si el sulfuro de plata estuviere combinado con bisulfuro de cobre, la reducción completa de bisulfuro de plata no se efectuará por el hierro.”

Seguramente existía en nuestro caso el bisulfuro de cobre puesto que no pudimos obtener nunca la completa reducción de los sulfuros, aunque sí conseguimos, después de varias y prolongadas fundiciones, mejorar bastante la maleabilidad de la plata. Digo que varias, porque una sola fundición, prolongada por más de dos horas, con movimiento del metal fundido y hierro en exceso, fue insuficiente para hacer siquiera tolerablemente maleable la liga.

Traté de encontrar después en el empleo del aire, no menos recomendado que el anterior, lo que me hacía falta para conseguir un feliz resultado, y me di a la tarea de aplicarlo.

No me fue esto tan fácil en un principio. Necesitaba disponer de una corriente de aire a una presión capaz de vencer la del metal fundido y no tan alta que pudiera ocasionar pérdidas en plata por proyección. Un ventilador centrífugo y un fuelle de fragua ensayé sin resultado, el que sólo fue completo al emplear un *inflador* de automóvil en el que la presión del aire era graduada a voluntad. No obstante, nunca pude alcanzar, ni alargando la acción del aire hasta por dos horas siquiera, la maleabilidad conseguida por la acción del hierro.

Otros muchos sistemas de reducción del sulfuro señalan los libros, pero ninguno encontré que pudiera económicamente emplearse aquí.

Como último recurso nos ocurrió entonces la idea de recocer las láminas cuando se notaba principio de rotura, lo que ordinariamente ocurría al alcanzar el grueso de unos 3 milímetros. Esta operación, cuando era bien llevada a cabo, daba excelentes resultados, pero cuando nó, resultaban discos de distintos pesos y se echaba así a perder el trabajo anterior. Ocurría también que al ser de nuevo recocidos estos discos para sellarlos luego, perdían totalmente su tenacidad y se rompían al menor golpe sufrido, estando aún calientes.

Si al fin hubo necesidad de abandonar este sistema para seguir el tratamiento electrolítico que resultaba entonces más económico, no quiero decir que fué un fracaso éste ensayo, pues por este método se logró afinar y amonedar al rededor de 600 kilogramos de plata.

CAPITULO III

PRINCIPIOS GENERALES DE ELECTROLISIS

La electroquímica es la parte de la química que estudia los fenómenos químicos producidos por la corriente eléctrica. Para que estos fenómenos electrolíticos ocurran, sólo se requiere: 1.º que la sustancia sobre la cual se obra sea un líquido, y 2.º que este líquido sea conductor de la electricidad.

Nomenclatura usada en electrolisis.

Electrolito: es el líquido conductor de la electricidad contenido en los baños.

Electrodos: son las dos superficies de metal u otro cuerpo conductor sumergidas dentro del electrolito y por las cuales entra y sale la corriente; el electrodo positivo es llamado anodo y el negativo, catodo.

Iones: son los productos de la descomposición electrolítica; los que se separan al anodo reciben el nombre de aniones y los que van al catodo cationes.

Densidad de la corriente: se da este nombre a la intensidad de corriente eléctrica por unidad de superficie.

Fuerza electromotriz: es la causa que mueve o tiende a mover la corriente eléctrica de un lugar a otro, y es asimilable a la presión hidráulica. Esta fuerza electromotriz es independiente de la superficie de los electrodos.

Equivalente electroquímico: el equivalente electroquímico de los cuerpos es la cantidad de este cuerpo que es depositada o desprendida por el paso de 96,540 culombios. Estos equivalentes son iguales a los pesos atómicos divididos por la valencia.

Ley de Faraday sobre electrolisis.

En electrolitos distintos, las cantidades descompuestas por una misma corriente son proporcionales a sus equivalentes químicos.

Se deduce de esta ley:

Nombre.	Equivalente químico.	Peso depositado por 1 amperio hora en grs.
Hidrógeno'	1	0,037
Oro'''	65	2,423
Cobre''	31,8	1,185
Plata'	108	4,025

La intensidad de la corriente es constante en todos los puntos de un mismo circuito.

Así, por ejemplo, si suponemos tres vasos en serie: el 1.º con electrodos de platino en agua acidulada; el 2.º con electrodos de plata en solución de su nitrato; el 3.º con electrodos de cobre en solución acidulada de sulfato de cobre, y hacemos pasar una corriente eléctrica por todos ellos durante un mismo tiempo, el peso de H, Ag y Cu desprendido o depositado en cada uno de ellos será proporcional a 1, 108, 31,8 es decir, a sus equivalentes químicos. Por cada parte en peso de hidrógeno liberado en el catodo del 1.º habrá 8 partes de oxígeno en el anodo; en el 2.º, 108 partes de plata quedarán sobre el catodo y reemplazadas del anodo; y en el 3.º, 31,8 partes de cobre depositadas.

Fuerza electromotriz.

Supongamos una solución de varias sustancias (metales M_1 , M_2 , M_3). Podemos suponer que el anión es único. Llamemos E el potencial de descarga de este anión; E_1 , E_2 , E_3 los potenciales de

descarga de los cationes (todo para una concentración normal de estos iones). Los términos de descomposición son, cuando

$$E + E_1 < E + E_2 < E + E_3$$

Si se aplica una fuerza electromotriz constante mayor que $E + E_1$ y menor que $E + E_2$ el metal M_1 sólo se depositará sobre el cátodo y si la duración de la electrolisis es suficiente, el electrolito se librará poco a poco de este metal.

Para determinar aproximadamente la f. e. m. (fuerza electromotriz) necesaria a la descomposición de un electrolito, se emplea la regla de Thomson

$$E = Q \times 0,0433 \text{ (esta regla es sólo aproximada).}$$

Q = al calor de formación de un equivalente electroquímico del electrolito (en calorías grandes).

$$E = \text{f. e. m. en voltios.}$$

PRINCIPALES FENÓMENOS DE LA ACCIÓN ELECTROQUÍMICA

Preparación del electrolito.

El método especial de preparar las soluciones o electrolitos difiere en cada tratamiento y aun en cada caso pueden ocurrir varios sistemas. Por ejemplo, para un electrolito de nitrato de plata puede procederse: 1.º por método químico, y 2.º electroquímico. El primero es muy sencillo pues sólo se reduce a disolver plata en ácido nítrico y a diluir luego esta solución en agua hasta la densidad requerida. El segundo o método electroquímico es más sencillo aún, siempre que pueda disponerse de una corriente eléctrica a tensión suficiente para forzarla a través de una gran superficie de ánodo y poca de cátodo en electrolito de agua acidulada con ácido nítrico. Una densidad de corriente de 4 amperios por decímetro cuadrado basta para obtener una solución al 3% de plata en pocas horas.

Desigual acción electrolítica de los electrodos.

Tratándose de tanques con electrodos verticales es lógico pensar que el líquido que rodea el ánodo esté más saturado de metal y que por razón de densidad irá al fondo; un fenómeno inverso sucederá al cátodo: el electrolito se empobrece, se vuelve menos denso y subirá a la parte superior. Como consecuencia de estas diferencias de densidad y composición química, la distribución y dirección de la corriente eléctrica será afectada. La disolución en los ánodos que será entonces mayor en su parte superior y la precipitación en los cátodos más abundante cerca al fondo. De aquí la necesidad de asegurar una buena circulación del electrolito si se quieren obtener buenos resultados.

Acción de la concentración y del ácido libre en la electrolisis.

Si la concentración del electrolito fuese muy débil ofrecería gran resistencia al paso de la corriente y ocasionaría grandes pérdidas por calentamiento. También hay que evitar que el ácido esté muy diluido para que el agua no sea afectada por la descomposición porque ocasionaría un gasto de energía inútil.

Si la concentración en ácido del electrolito fuese excesiva, éste sería descompuesto por la corriente en perjuicio del depósito metálico; pero también si la cantidad de ácido fuese deficiente y los ánodos muy solubles, éstos serían cubiertos de una capa de óxido de gran resistencia eléctrica.

Influencia de la temperatura en el electrolito.

La temperatura es de gran trascendencia en los cuerpos conductores, pues aumenta considerablemente la resistividad eléctrica en los metales y la disminuye generalmente en los electrolitos. Por tanto, con el empleo de soluciones calientes puede facilitarse el aumento de la densidad de corriente. Este aumento de temperatura contribuye también a la solubilidad del metal, pero generalmente la precipitación en los cátodos es menor. En consecuencia, conviene tratar con soluciones en caliente siempre que esto no contribuya a concentrar demasiado el electrolito.

Estructura física de los metales electrodepositados.

La estructura física de los precipitados metálicos varía con la composición química del líquido. También es notablemente afectada por la densidad de corriente y esto puede demostrarse así: tómese un cátodo de plata de mayor superficie que el ánodo en electrolito de nitrato de plata y hágase trabajar durante una hora; a simple vista podrá notarse en el cátodo que el precipitado en sus bordes es siempre de cristales mejor formados y más densos que en el centro donde estos cristales son más pequeños, casi pulverulentos.

Pureza de los depósitos electrolíticos.

Sólo en ciertos casos y en condiciones apropiadas puede obtenerse un depósito metálico puro de soluciones impuras.

De una solución compleja el metal menos electropositivo se separa primero y se separa solo. Tratando una solución acidulada de sulfato de cobre que contenga plata, con una débil densidad de corriente, y agitando continuamente, la plata puede precipitarse en estado puro.

Resistencia de los electrolitos.

La medida de la resistencia eléctrica de los baños es de la mayor importancia para determinar el rendimiento de la electrolisis. Esta medida se hace de una manera muy sencilla por el procedimiento del puente De Wheatstone modificado por Kohlrausch.

Como el paso de una corriente continua descompone el electrolito, se emplea una corriente alterna producida por un carrete y como esta corriente no sería indicada por un galvanómetro se reemplazaría por un teléfono.

En la caja K hay cinco resistencias de 0, 1, 10, 100 y 1,000 ohmios respectivamente que pueden intercarse a voluntad. La resistencia que se trata de medir, X', se intercala entre los bornes E y D y el teléfono entre los bornes que figuran a la derecha. Hechas las conexiones necesarias no hay más que correr el indicador a lo largo del hilo J hasta que desaparezca el ruido del teléfono.

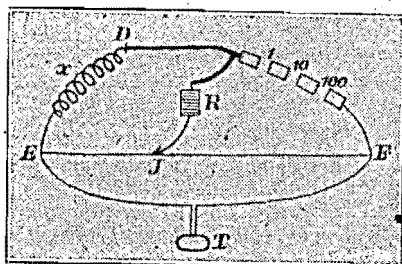


Fig. 1

Representación esquemática del aparato
Kohlrausch.

Para hacer la medición de estas resistencias se emplean vasos apropiados y electrolitos de resistencia conocida en cuyo caso para hacer la determinación de la resistencia basta aplicar la fórmula:

$X' = \frac{RX}{R'}$ en que RX es constante que se encuentra en las Tablas y R' determinado en el ensayo.

Consumo de energía eléctrica en electrolisis.

La energía eléctrica necesaria para separar de un compuesto un peso dado de metal, depende: de la fuerza de descomposición de la sal considerada; de la cantidad de metal depositado; de la resistencia del electrolito; de la de los conductores; del movimiento del electrolito; rendimiento de la máquina, reóstatos, etc.

Difusión del electrolito en electrolisis.

El movimiento del líquido ofrece gran influencia sobre la electrolisis; si no existiera este movimiento, se suspendería parcialmente la electrodeposición del metal, porque la solución cerca al anodo se empobrecería en metal y la cerca al catodo en ácido. Por esta misma causa la corriente eléctrica descompondrá otras sustancias, como por ejemplo, el agua, cuyo oxígeno en el anodo oxidará el metal transformándolo en óxido generalmente insoluble que ofrecerá gran resistencia al paso de la corriente, impidiendo además la acción disolvente de los ácidos sobre el anodo. En el catodo, el empobrecimiento en metal tiene como consecuencia el enriquecimiento en ácido que disolverá el metal depositado.

CAPITULO IV.

PLANTA ELECTROLÍTICA

Instalación y funcionamiento.

En el mes de Marzo de 1913 fue comprada en Bogotá, en remate público, para la Oficina de Apartado, la Planta Electrolítica, que sin uso, existía en la Casa de Moneda de aquella ciudad desde su introducción en el año de 1907.

Esta instalación, comprada personalmente en New York por el Sr. Enrique Restrepo, es la que hoy existe en nuestra Casa de Moneda y que será objeto principal de este estudio.

Traía esta planta: una caldera vertical de vapor de 10 H. P.; un motor de vapor, con dos volantes laterales que además servían de poleas para la transmisión por bandas a los dinamos y capaz para 8 H. P.; una dinamo-excitadora con su voltímetro y resistencia; una dinamo-excitada, que recibe la acción de la anterior, capaz para 1,000 amperios; conductores de barras de cobre de 3 centímetros de diámetro; 6 tanques de madera como el de la figura 2 con sus conductores de alambre de cobre; resistencias, amperímetros, voltímetros etc.; y por último, tanques de soluciones, rejillas, filtros, carbones etc. que completaban la instalación.

Bajo la inmediata dirección de D. Vicente Villa se montaron los dinamos con todos sus aditamentos como reóstatos, voltímetros etc. y las barras de cobre, amperímetros y resistencias correspondientes a cada uno de los seis tanques y se comprobó el buen funcionamiento de toda ella mediante repetidos ensayos.

Para el ensayo práctico a fin de comprobar la bondad de la Planta se montó un tanque siguiendo al pie de la letra las indicaciones y planos que la acompañaron.

Se emplearon allí los zapatos y cátodos de carbón como lo indicaban éstos, y ánodos de plata en electrolito de agua acidulada al 10% de ácido nítrico.

A pesar de disponer de una corriente eléctrica a 5 voltios de tensión, el amperaje medido sólo llegó a 6 ó 7 amperios, y eso después de elevar el porcentaje en ácido a 30%.

Como la causa de esto parecía estar en los zapatos de carbón, se reemplazaron por otros de plata fundidos consiguiendo así aumentar la corriente a 40 amperios, mejora importante, pero aún muy deficiente para declararse con ello satisfechos.

En este estado de cosas, el Dr. Zurcher prometió solucionar todas las dificultades presentadas entonces mediante el pago de \$ 250 oro. Dados los buenos antecedentes del Dr. Zurcher, ex Profesor de la Escuela de Minas, persona muy bien conocida aquí y que además aseguaba haber trabajado en una refinera electrolítica de cobre en los Estados Unidos, se aceptó la propuesta y se puso la planta a su disposición.

Mucho trabajó el Dr. Zurcher, pero el resultado no correspondió a sus esfuerzos, hasta que, convencido de la inutilidad de su trabajo en este caso, renunció al compromiso y declaró libre de los suyos a la Oficina de Apartado, según puede verse en carta dirigida al Sr. Gobernador, en Junio de 1914.

Nada quedaba por hacer, pues cuanto hay imaginable se había ensayado para evitar la resistencia encontrada, pero todo sin resultado. Dada la diferente resistividad eléctrica entre el carbón y la plata, resistividad que es 2,500 veces mayor en aquél que en ésta, no quedaba lugar a duda, había necesariamente que cambiar los cátodos de carbón por otros de plata pura, y de ello se trató.

Desgraciadamente, por no estar aún terminado el montaje de la Casa de Moneda, no se pudo entonces preparar los cátodos, y hubo necesidad de pedirlos a New York. Por fortuna el agente en esa ciudad no quiso despacharlos hasta nueva orden, pues costar

ban \$ 2,000 oro, puestos allí, razón que hizo se suspendiera el pedido.

Todo lo dicho antes sobre el empleo de electrodos de carbón se halló después confirmado en algunas obras pedidas al efecto, en las que ni siquiera suponían la posibilidad del empleo de carbones para conductores catodos, originalidad exclusiva del comprador o fabricante de esta Planta.

El estudio de los libros sobre afinación electrolítica hizo que se pensara en el modo de adaptar nuestros tanques e instalación a alguno de los sistemas más conocidos y empleados en la práctica de refinación de oro y plata en otros países. De los muchos y muy perfectos que existen hay sobre todo dos que tienen una casi total semejanza con los nuestros (fig. 2), aunque bastante más perfectos, y designados con los nombres de sus inventores, *Balbach* el 1.º, y *Moebius* el 2.º.

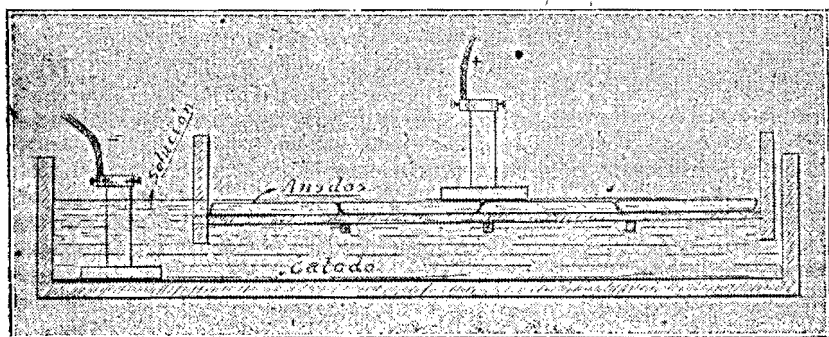


Fig. 2.

Los tanques horizontales Balbach están forrados interiormente con una capa del metal que se ha de depositar, placa que sirve de cátodo. Los ánodos van allí colocados sobre rejillas de madera, suspendidas de los tanques. Según sea la naturaleza de los ánodos, éstos irán o no colocados sobre filtros de tela.

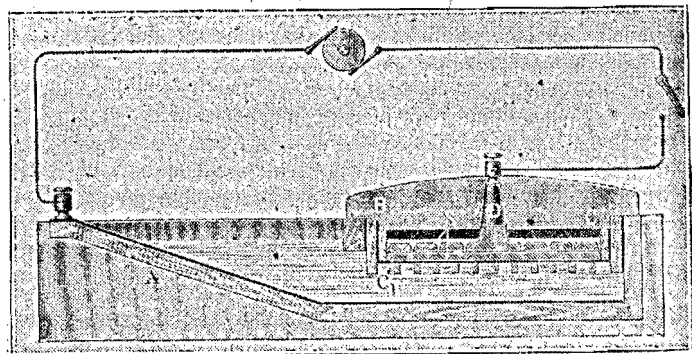


Fig. 3.

Como se ve por la forma y disposición de los tanques, éstos están hechos de manera de poder retirar el metal depositado sobre el cátodo para así evitar cortos circuitos.

Tratando de este sistema dice el Dr. Borchers:

“El aparato Balbach posee la indiscutible ventaja de su sencillez, pero también grandes inconvenientes si se compara con el sistema Moebius de catodos móviles que pensaba suplantarlo. En efecto, éste cuenta con movimiento continuo del electrolito, y aquél, al contrario, necesita un obrero permanente, todo lo cual recargará su tratamiento.”

Si tal se dice de los tanques Balbach, lo mismo y muchísimo más podrá decirse de los de nuestra Planta que no ofrecen siquiera la facilidad de aquéllos para retirar la plata depositada.

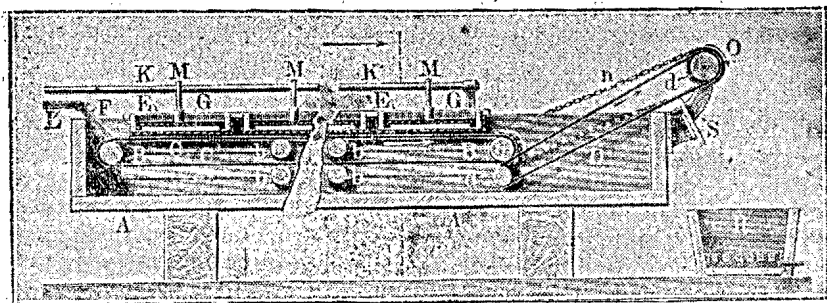


Fig. 4.

En su tanque horizontal con catodos móviles (fig. 4), Moebius obtuvo que la plata fuera depositada sobre un cátodo formado por una banda de lámina de plata, C (de $\frac{1}{32}$ de grueso), que constantemente se movía sobre los rodillos B; b en la dirección indicada en la figura. De este cátodo móvil la plata depositada era llevada fuera del tanque por la correa D, y vaciada al vaso R por la acción del raspador S. Los rodillos recibían el movimiento de una polea exterior. Los ánodos estaban colocados sobre rejillas y filtros, como en los otros sistemas. La conexión eléctrica entre los ánodos y el conductor K se efectúa por los alambres M. Estos alambres son hechos de cobre, con una cápsula de platino en su parte inferior, y la otra porción sumergida en el baño bien forrada en caucho. La escobilla F, de plata pura, sirve de conductor entre el polo negativo y el cátodo C.

Además de la facilidad que ofrece este método para la separación de la plata precipitada, tiene la enorme ventaja sobre los demás tanques horizontales de mantener el electrolito en continua circulación.

Este sistema exige tanques de construcción muy perfecta y resulta muy costosa su instalación.

Obtención del oro de ligas de plata aurífera.

Todos los trabajos mencionados hasta ahora sólo se habían hecho por vía de ensayo, pues por no estar aún terminado el montaje de la Casa de Moneda no se había presentado ocasión de estable-

cerlos. Sólo a mediados del año de 1914 para dar principio a la amonedación de oro se procedió a emprender operaciones en debida forma.

Fue entonces cuando D. Ernesto Vogt ofreció galantemente su cooperación que, dicho sea de autemano, fue de grande utilidad.

Al Sr. Vogt correspondió hacer los primeros ensayos con catodos de plata pura. Estos catodos fueron fabricados en la Casa de Moneda, siendo el primer trabajo emprendido allí, y aunque hubo que vencer serias dificultades, como en todo principio, el resultado fue bueno.

Instalados los tanques con los nuevos catodos de plata pura, se obtuvo desde un principio, como era de esperarse, con el considerable aumento de conductividad eléctrica, un espléndido resultado comparativamente a los anteriores. Antes de separarse el Sr. Vogt, quiso establecer una gran mejora, como fue la de aumentar la superficie de anodo en cada tanque y ofrecer así mayor superficie al paso de la corriente. Aumentó esta superficie de 20 dec.² a 40 y logró así aprovechar una corriente de 120 amperios por cada tanque, con una diferencia potencial entre los terminales de la dinamo de 4 voltios.

Nada más había que hacer por el momento en cuanto a nuevas reformas, puesto que podía considerarse ya como conseguido el mejor resultado que era de esperarse de instalación tan deficiente, y por tanto, se dio principio a los trabajos en forma, en Agosto de 1914.

Se trataba entonces de apartar oro para luego ligarlo a la ley de 0,916 y $\frac{2}{3}$. Sabido es que nuestrosoros y principalmente los de veta, rara vez pasan de 0,800 de ley, y por tanto, requieren una previa afinación antes de ser amonedados.

Los anodos eran hechos de liga de oro y plata a la ley de 0,200 en oro y 0,780 a 0,770 en plata y cantidades variables de cobre y otros metales. Esta proporción en oro fue declarada la más conveniente después de verificados repetidos ensayos. Como las barras de oro tenían generalmente una ley bastante más alta, se ligaban con otras de plata pura, obtenidas en la misma Planta, lo que facilitaba mucho la operación por estar libres de cobre.

Ninguna dificultad había que estorbaba la buena marcha del proceso. Se trabajaba con tres tanques, cada uno con 40 dec.² de superficie de anodo, 120 a 140 amperios y una tensión de 3 a 4 voltios. La densidad de corriente empleada era pues 3 amperios por dec.² de superficie.

El electrolito usado entonces, era una solución de 1 a 2 % de ácido nítrico, de 3 a 5 % de plata y el cobre nunca llegó a más de 2 %.

Como resultaba gran cantidad de solución de nitrato de plata de alta concentración de las operaciones posteriores de afinación del oro y ningún otro empleo tenía, era agregado en abundancia al electrolito, lo que contribuía a mantener muy alta la concentración de la solución y a obtener una plata muy pura y en hermosos cristales de forma arborescente.

El gasto en ácido era muy poco, pues el cobre existía en muy poca cantidad y como el nitrato siempre contenía algún ácido libre, hacia mantener bastante alto el tenor en ácido libre.

Nada sé de observaciones hechas por los Sres. Escobar & Ehrensperger durante los dos meses que tuvieron la Planta bajo su dirección. Sólo sé que el trabajo llevado a cabo entonces fue muy satisfactorio y muy sentida la separación a que se vieron obligados, para atender a muchas otras ocupaciones.

Por renuncia de dichos señores, fui llamado en el mes de Noviembre de 1914 por el Sr. Pascual Gutiérrez, Gerente de la Oficina de Apartado, para reemplazarlos en la afinación de una última remesa llevada entonces.

Aunque mis conocimientos en esta materia eran muy pocos, pues se reducían a algunos principios generales y a haber asistido a algunos de los ensayos llevados a cabo hasta entonces, me atraía el deseo de aprender y acepté gustoso.

Afortunadamente el trabajo entonces no ofrecía dificultad alguna. En la Planta todo marchaba bien y mis quehaceres en ella casi se reducían a ensayar soluciones, trabajo poco menos que inútil, ya que por las razones que indiqué atrás, estaba seguro de encontrarlas en las mejores condiciones apetecibles. Por lo tanto, sólo tenía por ocupación, tratar los lodos resultantes en los filtros de los anodos, operación que, como veremos más adelante, nada tenía de científica.

Tan fácil me resultaba todo, que al terminar, viendo cuán sencillo era, me atreví a solicitar este trabajo como materia para desarrollarla y sostenerla en mi examen final de grado, convencido de que todo obstáculo estaba vencido. Pero incurría en un gran error; si entonces hubiera visto claro como hoy, después de un año de continuo luchar, y esta vez con verdaderas dificultades y después de mucho estudiar, seguramente que no hubiera sido este mi tema de tesis. Entonces confiaba en mi saber; hoy, no sólo desconfío del mío, sino que me atrevo a confirmar lo que hace algunos días me decía mi nunca bien estimado Profesor Dr. Enrique Denéve, quien me afirmaba que no debía confiar en lo que sobre industria tan nueva dijera éste o aquel autor; pues seguramente ninguno o casi ninguno había experimentado prácticamente todas sus afirmaciones, estando muy lejos de ir a divulgarlas quienes sí las tuvieran conocidas, por ser secretos de sus empresas.

Tratamiento de los lodos anódicos.

Como consecuencia de la electrodisolución de la plata en los anodos, resultaba naturalmente sobre los filtros un depósito sumamente fino, de un color negro, que contenía además del oro, algo de plata y algunos de los metales bajos de los anodos. Este residuo era separado cada uno o dos días y después de bien lavado era llevado para ser tratado con ácido nítrico. Esta operación de suyo muy sencilla, ya que sólo se reducía a una simple disolución de los metales extraños al oro, se hacía muy laboriosa debido a la falta de aparatos adecuados.

Para estas operaciones disponía, como únicos elementos, de un horno de reverbero común, cubierto con lámina de hierro, sobre la cual se colocaba un baño de arena y cinco o seis cápsulas de porcelana de 10 y 12" de diámetro.

Previamente lavados estos lodos y colocados de a dos y tres libras en cada cápsula, se les agregaba como primer ácido la solución

gastada como último baño en afinación anterior por contener todavía algún ácido libre. Agregábase después ácido concentrado y en seguida otras porciones más diluidas. Especial cuidado se tenía en vigilar el estado de concentración del solvente tanto en nitrato de plata como en ácido libre para diluirlo o reemplazarlo según el caso.

Por medio de ensayos en un principio y más tarde guiados únicamente por su coloración que se hacía muy notoria, era determinado el momento de retirar estos lodos, que luego eran lavados con agua de lluvia, muy caliente, por decantaciones sucesivas hasta que el agua del lavado sólo indicaba trazas de nitrato. Estos lodos eran entonces bien secados al fuego, y el oro, de un bonito color rojo-moreno, era fundido en crisoles de arcilla, con adición de un poco de nitro u otro reactivo que oxidara las trazas de los metales extraños para hacerlo maleable y apropiado a la amonedación. Resultaba este oro a una ley al rededor de 0,985 y aunque era posible pasar de allí no tenía objeto en este caso.

El gasto en ácido nítrico era de una a una y media libras por libra de oro afinado y demoraba el tratamiento de ocho a diez horas.

CAPITULO V

ELECTROLISIS DE LAS ALEACIONES DE ORO

Tratándose de afinación de oro cabe muy bien preguntar: ¿por qué no se electroliza directamente un electrolito de una sal de oro entre electrodos del mismo metal?

En efecto, si bien en un principio circunstancias especiales no permitían la adopción de este sistema, podría ser aplicable en otra ocasión por lo que me ocuparé de él.

La liga de los anodos en electrolisis de oro no debe bajar de 0,900 ni la plata pasar de 0,080 si se quiere trabajar con buenos resultados. Cuando haya mucha plata el precipitado de cloruro de plata formado en los anodos impedirá la acción del solvente por lo que habrá necesidad de retirarlo constantemente.

Raras son las minas entre nosotros cuyo oro tenga más de 0,850 de ley y por tanto tales oros no podrían aprovecharse directamente en este sistema. En cambio los lodos resultantes de los tanques de plata sí servirían para el efecto aunque para ello en algunos casos hubiese necesidad de algún tratamiento anterior con ácido sulfúrico o nítrico para quitar algún exceso de plata si ésta pasara de 8 á 10 ‰.

Con la liga indicada se vacían los anodos de forma apropiada para tanques verticales.

Los catodos de 0,3 a 0,4 mm. de grueso y de oro puro deben acomodarse a las longitudes de los anodos. La distancia entre unos y otros no deberá ser de más de 3 centímetros.

Los vasos o tanques empleados pueden ser de porcelana u otro material capaz de resistir la acción del HCl en caliente.

El electrolito usado que deberá mantenerse a una temperatura de 60 a 70° C° es un percloruro ácido de oro en solución, en una proporción de 3,5 a 4,0 ‰ de oro y de 10 a 12 ‰ de ácido clorhídrico. Escasez de ácido libre se nota por un desprendimiento de gas cloro en los anodos, en cuyo caso se agregará más ácido hasta que desaparezca el olor de cloro.

El electrolito puede prepararse disolviendo el oro en agua regia y después de evaporado el ácido nítrico, en ácido clorhídrico; o mejor de un modo más sencillo aprovechando la corriente eléctrica. Empleando una densidad de corriente de 25 a 30 amperios por dec.² en un tanque con electrodos de oro; solución al 15 ó 20 ‰ de ácido clorhídrico, podría obtenerse una concentración de 35 a 45 ‰ de oro en el transcurso de 48 horas y esta solución podría ser diluida a la fuerza requerida. La F. e. m. necesaria para esta operación sería de unos 5 voltios.

Cuando todas las operaciones sean bien llevadas puede trabajarse en un cuarto cerrado sin que se note desprendimiento de cloro siéndolo reducido el gasto a un mínimo.

El único ácido perdido puede considerarse el gastado en formar cloruros por combinación con la plata y los otros metales llevados en solución.

Como se trata de electrodos del mismo metal que la solución, no habrá polarización y la resistencia ofrecida por la solución acidulada con HCl en caliente será muy débil. La diferencia de potencial entre los terminales de un tanque electrolítico no será mayor de un voltio cuando la densidad de corriente empleada sea de 10 amperios por dec.²

Es muy necesario, si se quiere un buen resultado, mantener constante la proporción en oro del electrolito por adición de solución nueva. Como la cantidad de oro depositada en el cátodo no puede ser totalmente reemplazada del ánodo por existir allí otros metales también solubles, necesariamente se empobrecerá la solución. La cantidad de oro añadido para compensar esta pérdida puede deducirse fácilmente de cálculos basados en la composición del ánodo; un color obscuro y disminución de cohesión en el depósito del cátodo servirán para indicar la deficiencia en oro del electrolito.

Un hecho curioso se observa en cuanto al equivalente electroquímico del oro. Siguiendo la ley de Faraday se tendrá que considerado el oro como un metal trivalente (que como tal lo dan todos los autores), un átomo en peso de plata (108), o medio de cobre (63,5), o $\frac{1}{3}$ de oro (197,3) serían las cantidades que llevadas respectivamente en solución irían a depositarse sobre el cátodo por la misma cantidad de corriente. Según esto si adoptamos el número 1,180 miligramos como la cantidad de plata depositada por una corriente de un amperio en un segundo, el peso del depósito formado por un amperio en una hora será:

Para oro	2,450 gramos.
— plata	4,026 —
— cobre	1,186 —

Pero el número anotado no corresponde a los resultados obtenidos en la práctica sino que resultan mucho mayores. Así, de repetidos ensayos, algunos de ellos hechos por el Dr. Wohlwil, conectando en serie un baño de oro con un voltámetro de cobre, se obtuvo la relación de

$$\frac{\text{cobre}}{\text{oro}} = \frac{1}{2,50}$$

lo que daría para el oro $2,50 \times 1,186 = 2,96$ gramos por amperio ho-

ra, cantidad que supera con mucho a 2,45 obtenido como cálculo teórico. De aquí se deducirá un valor al rededor de 79,3 para el equivalente electroquímico del oro, pero este número no guarda proporción con los pesos atómicos.

Este fenómeno puede suponerse como producido por la descomposición de iones de oro en una solución formada de compuestos de oro trivalentes y monovalentes en que el oro depositado corresponderá a un equivalente compuesto cuya magnitud será función de la proporción en que las dos clases de iones sean mezclados y mayor en todo caso al del oro trivalente considerado generalmente como verdadero.

De la serie de ensayos mencionados atrás, que dan 2,96 gramos de oro depositado por amperio hora, se deduce la relación de un ion monovalente por cada nueve iones de oro trivalente como componentes de la solución.

La presencia de cloruro auroso en solución puede demostrarse fácilmente en una solución de oro que contenga ácido clorhídrico. Para distinguirlo basta colocar en un vaso un poco de solución y se observará después de algún tiempo un depósito de oro proveniente de la descomposición del cloruro auroso en oro y cloruro áurico.

APLICACIÓN INDUSTRIAL DE LA ELECTROLISIS DE LAS ALEACIONES DE ORO

Dos circunstancias muy diversas una de otra deben tenerse en cuenta antes de la instalación del apartado electrolítico del oro: es la primera el problema científico y la segunda y más importante el problema económico.

Como dije atrás, no es factible la electrorrefinación directa de losoros antioqueños en su gran mayoría por la gran cantidad de plata que contienen. El trabajo, pues, se reduciría a la refinación de los lodos procedentes de los tanques de plata por lo cual habría que suponer el trabajo lo menos de cuatro de aquéllos, lo que recargaría demasiado el gasto del tratamiento.

Para evitar este costo, podría destinarse una parte del oro puro obtenido, en ligarlo a otros de menor ley y obtener una liga siquiera de 0,880 de oro.

Ya hemos dicho que no debían emplearse anodos con menos de 0,900 de fino. Como aquí no se pretendería obtener oro enteramente puro, pues nada importarían 5 ó hasta 10 milésimos de plata, podrían en este caso usarse anodos hasta con un 12 ó 13 % de metales extraños.

En cuanto a las dimensiones y forma de anodos, son cuestiones ya relacionadas con la forma y dimensiones de los tanques y con la cantidad de oro por afinar, puesto que en cuanto a densidad de corriente podría emplearse 15 amperios por dec.², densidad muy fácil de suministrar, aun disponiendo de sólo 2 voltios de f. e. m.

Los catodos serán de oro puro, laminados y su forma y dimensiones dependerán de las de los tanques y anodos. El grueso de estas láminas será de 0,3 a 0,4 mm. únicamente o sea apenas capaces de resistir el peso del oro adherido a su superficie pues deben fundirse con el oro depositado.

El electrolito según vimos ya, deberá contener al rededor de 4 0/10 de oro en forma de compuestos áuricos y aurosos. Además contendrá de 10 a 12 0/10 de ácido clorhídrico libre. Mucho cuidado debe tenerse en reforzar la solución cada vez que su fuerza decaiga pues esto ocasionaría la diferencia en la forma y pureza del precipitado.

Los tanques empleados para la electrorrefinación del oro son en general de porcelana y de pequeñas dimensiones. En espera de nuevos trabajos de afinación de oro se pidieron hace ya algún tiempo para la Oficina de Apartado dos de estos tanques con dimensiones interiores de 45 × 35 × 30 centímetros. En cada uno de estos tanques pueden disponerse tres filas de anodos y cuatro de catodos con una superficie de 20 dec.² que a la densidad de 15 amperios necesitaría una corriente aproximada de 300 amperios por tanque.

Para averiguar la cantidad de oro que podría afinarse por día y por tanque, suponiendo una eficiencia de 75 0/10 solamente, trabajo en 22 horas, y cantidad de oro depositado por amperio hora, igual a 2,96 gramos, tendremos $300 \times 0,75 \times 22 \times 2,96 = 14,7$ kilogramos de oro puro.

Como se ve por este resultado, un solo tanque sería suficiente para atender a la amonedación de oro en nuestra Casa de Moneda, pues no creo pueda llegar nuestro reducido mercado a introducir semejante cantidad por día, cuyo valor representa \$ 10,000 oro. Pero aun llegado el caso, podría instalarse un segundo tanque y el oro obtenido emplearse en ligarlo a barras de menor ley con objeto de hacerlas así tratables por este sistema, con lo que quedarían abandonados los tanques de plata obteniendo así economías de consideración.

Creo, pues, que con una instalación de sólo dos tanques como los indicados, podría darse holgadamente abasto a todas las exigencias del mercado y entregarse el oro afinado con sólo dos o tres días de término. Estos dos tanques serían conectados en paralelo con la corriente, pues el bajo potencial de la dinamo no permitiría su instalación en serie, lo que además no tendría objeto por estar construída aquélla para suministrar hasta 1,000 amperios.

En cuanto al arreglo de anodos y catodos, así como al modo de dar movimiento al electrolito, podría adoptarse el indicado por los Sres. Richetts & Banks de New York, en su estudio rendido a la Oficina de Apartado, en Noviembre de 1914, y cuya idea sigo en el plano que acompaño.

En cuanto a la importancia de circulación del electrolito, cabe decir que es insustituible de todo punto de vista, siempre que se empleen tanques verticales, haciéndose notar la buena circulación con un precipitado uniforme en los catodos.

Se emplea para mover la solución la hélice indicada en la figura 4. Esta hélice tiene movimiento automático comunicado por medio de un juego de poleas y ocupa en el tanque el lugar de uno de los tres anodos del centro. Tanto el eje vertical como las paletas que mueven el líquido deben ser de vidrio o porcelana y prestan muy buenos servicios, pero hay que tener mucho cuidado de comu-

nicarles un movimiento muy lento, pues de lo contrario se romperían.

Estos tanques deberán ir sobre un piso a prueba de ácido y donde puedan recogerse porciones cualesquiera de soluciones, pues ha de tenerse en cuenta el alto valor del electrolito.

Modo de seguir el tratamiento.

Ante todo, para preparar el electrolito, si no quiere seguirse el sistema químico, sino el electroquímico, debe montarse un solo tanque y, quitando todas las resistencias a los dinamos en los reóstatos; forzarlos a producir el máximo de corriente al mayor voltaje. Esta corriente debe pasar a través de una solución de ácido clorhídrico, diluida al 20 ‰, entre ánodos y catodos de oro. En las condiciones ya indicadas y con la dinamo existente hoy día puede obtenerse hasta una densidad de corriente de 30 ó 35 amperios por dec², densidad suficiente para concentrar una solución de cloruro áurico y auroso al 35 ó 40 ‰ de oro, en 24 horas.

Con esta solución puede prepararse el electrolito diluyendo hasta el 4 ‰ y reservando la solución concentrada restante para reforzarla cada vez que sea necesario. Arreglados así los tanques debe regularse la corriente a 15 amperios por dec.²

Los metales que componen el anodo son disueltos en el electrolito, exceptuando la plata y parte del plomo, que irán precipitándose en forma de cloruros, a medida que los ánodos se disuelven.

Quando los ánodos contengan hasta un 10 ‰ de plata, mucho cuidado debe tenerse de desprender los cloruros adheridos, que si no, por ser aisladores, impedirán el paso de la corriente.

Según sea la cantidad de oro depositado por catodo y por día se cambiarán éstos en un lapso de tiempo, que será indicado por el peso del metal depositado, pues debe evitarse que este peso pueda romper dichos catodos. Estos, con el oro adherido, serán fundidos, una vez cuidadosamente lavados y secados, pues el depósito se adhiere de manera que se hace imposible desprenderlo, habiendo necesidad de cambiarlos a cada operación. Con un grueso de 0,3 mm, estos catodos pueden soportar perfectamente 4 kilogramos de oro.

Teniendo cuidado de mantener la fuerza en oro y ácido libre, puede conservarse el electrolito hasta que el cobre en solución llegue a un 4 ‰.

Para obtener el oro de las soluciones gastadas ya, cargadas con 4 ‰ de cobre, basta agregar una solución de cloruro o sulfato ferrroso. El oro así precipitado puede ser fundido después de separarlo y lavado, pero no será suficientemente maleable para la amonedaición, por lo que será preciso antes tratarlo con una corriente de gas cloro al estado de fusión.

Para separar el oro del cloruro de plata, arrastrado por éste en el residuo de los ánodos, debe fundirse este cloruro con adición de un poco de carbonato de sodio, para que la plata reducida colecte el oro, y se obtendrá un botón de plata aurífera en el fondo del crisol. El cloruro de plata sobrante, se reducirá luego por el conoci-

dísimo sistema de reducción con zinc en solución acidulada con ácido sulfúrico.

Para terminar con esta materia anotaré aquí algunas indicaciones de aplicación práctica del Dr. Wohlwill, que dice así:

“La temperatura del baño debe mantenerse de 60 a 70° C”

“Cuando se haga notar un desprendimiento de gas cloro, indicará deficiencia en ácido libre; en este caso se agregará HCl hasta que todo el olor del cloro desaparezca por completo.

“El uso de soluciones calientes exige proveer los tanques de un aditamento especial que reemplace el líquido perdido por evaporación. Para atender a esta necesidad debe emplearse el agua ya usada en lavar los depósitos y residuos.

“Si los anodos contuvieren plomo en cantidad apreciable en unión de plata y otros metales, la solución estará rápidamente saturada de cloruro de plomo. Los electrodos y las paredes y fondo del tanque serán cubiertos con cristales de este cloruro. En este caso, se hace preciso lavar los depósitos de oro repetidas veces con agua hirviendo, y este cloruro de plomo disuelto será precipitado al enfriarse”.

Pero el tratamiento más satisfactorio de ligas con plomo, se efectúa con ácido sulfúrico. En tal caso se agrega H_2SO_4 concentrado en cantidad equivalente al HCl presente. El plomo forma entonces sulfato de plomo insoluble que debe desprendirse del anodo gradualmente o bien por medios mecánicos como se hace con el cloruro de plata. El ácido sulfúrico gastado debe renovarse de tiempo en tiempo. Como este ácido no estorba el proceso ordinario, se aconseja agregarlo en todo caso en que el plomo esté presente.

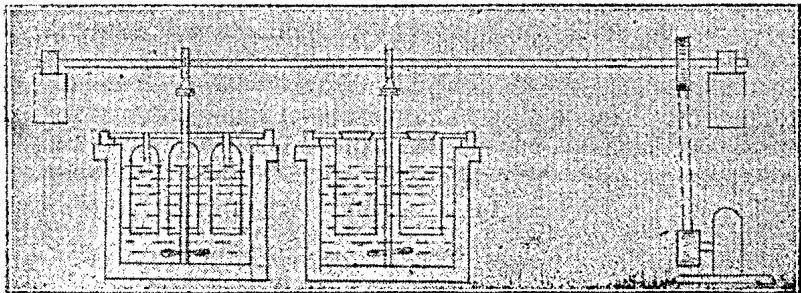
Costo de la instalación.

Vimos antes que cada uno de los tanques como el de la figura 5, era capaz para refinar por día hasta 15 kilogramos de oro. Empleando dos de estos tanques se podría muy bien atender a la amonedaación y el sobrante que sería de 15 ó 20 kilogramos, emplearlo en ligaroros de baja ley, con lo cual hasta nuestras barras de 6 ó 700 milésimos podrían ser afinadas en este sistema.

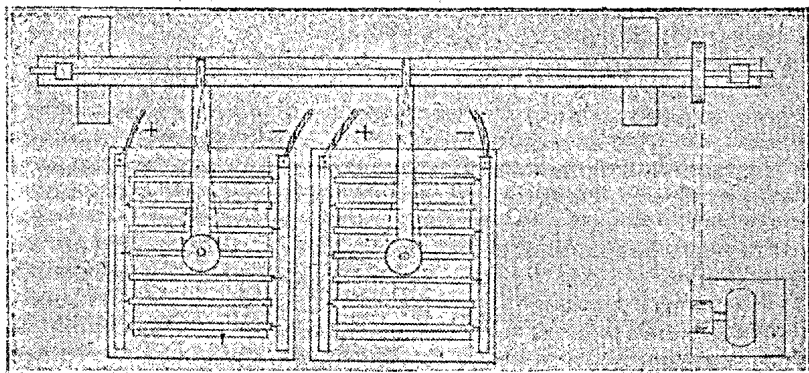
A pesar de todas estas ventajas, el procedimiento no deja de tener un grave inconveniente. Se trabajan soluciones concentradas de cloruros de oro, en las que un solo centímetro cúbico representa un valor de \$ 0,25 oro, más o menos, y todo este valor (varios miles de pesos oro), repartidos en una forma que ni siquiera puede valuarse, podría dar origen a pérdidas de consideración.

También se tropieza con el costo relativamente alto de su instalación, pues considero que para el montaje de dos tanques como los antes indicados, con sus soluciones, catodos, conductores, etc, se necesitaría un capital no menor de 7 u 8,000 pesos oro, el que naturalmente no podría invertirse sino en el caso de trabajos en grande y duraderos, lo que en este mercado de tantas fluctuaciones no podría garantizarse.

Disposición de los tanques para la electrolisis del oro, así la disposición de los anodos, catodos y agitador en cada uno de ellos.



Corte horizontal.



Corte vertical.

Fig. 5.

CAPITULO VI

AFINACIÓN ELECTROLÍTICA DE LA PLATA DE 0,835 DE LA MONEDA ANTIGUA ENVIADA POR LA JUNTA DE CONVERSIÓN PARA SER REA-CUÑADA A LA LEY DE 0,900

Una vez resultó la reacuñación de la moneda de 0,835 enviada por la Junta de Conversión, en la Casa de Moneda de Medellín, correspondió a la Oficina de Apartado su afinación a la ley de 0,900; según contrato celebrado con el Gobierno Departamental.

Ya terminada desde el mes de Febrero próximo pasado la entrega de los 5,383 kilogramos de plata de 0,900 correspondientes a la moneda antigua, me propongo mencionar aquí las diversas operaciones seguidas durante todo el trabajo, ya que me ha correspondido dirigirlo desde el principio hasta el fin.

Modo de seguir el tratamiento y resultados obtenidos.

Contaba para este trabajo con la Planta electrolítica en el mismo estado en que había funcionado durante la afinación de oro, y constaba de los siguientes elementos:

Una dinamo excitadora con su voltímetro y resistencias

Una dinamo excitada por la anterior, con una capacidad de producción máxima de 1,000 amperios, también con su reóstato.

Para prevenir pérdidas de voltaje en la corriente generada por esta dinamo causa de la gran intensidad de corriente, se emplean como conductores barras macizas de cobre de 3 centímetros de diámetro. De estas barras, por medio de gruesos alambres de cobre, se tomaba la corriente para cada uno de los seis tanques que instalados en paralelo componen la instalación. En serie con cada tanque estaban colocados además una resistencia y un amperímetro. Por último completaba el tablero un voltímetro destinado a medir la tensión entre los terminales de cada tanque, pero mal dispuesto desde un principio, sólo servía para medir la diferencia de potencial entre los polos de la dinamo.

Poco práctico entonces en cuestiones de electricidad, y además convencido de la competencia de quien montó la planta, no pensé siquiera se hubiera cometido error alguno en la instalación que pudiera enmendarse, lo que, además, parecía confirmado por los que antes que yo habían dirigido el tratamiento sin reparo alguno, a no ser el Dr. Deneve, quien en cierta ocasión me hizo notar que el voltímetro en la segunda dinamo no prestaba el servicio a que estaba destinado.

Debido a todo esto y a los muchos tropiezos de toda clase que me privaban totalmente del poco tiempo que por entonces me dejaban libre mis estudios en la Escuela de Minas, hubo de continuar funcionando la Planta durante varios meses con los defectos de instalación anotados, dando lugar a pérdidas de corriente de bastante consideración.

Ignorante yo de la tensión en cada tanque, podría ocurrir, y ocurría con frecuencia, alguna interrupción parcial de la corriente, que secundada muchas veces con un corto circuito en el tanque ocasionaba una pérdida total de trabajo, de fatales consecuencias económicas, todo lo cual se hacía notar principalmente durante la noche, en la que era imposible prestar suficiente atención.

Puesto a la tarea de averiguar el modo de evitar este trastorno, lo encontré, fácilmente por cierto, colocando los alambres del voltímetro en derivación con cada tanque, de manera de poder leer directamente la tensión en cada uno de ellos, pero conservando uno en la disposición que antes tenía para conocer también el voltaje en los terminales de la dinamo.

Con semejante disposición el más lego podía comprobar en un instante dado si el paso de la corriente era correcto en un tanque cualquiera, sabiendo que el voltaje debía ser próximamente el mismo en todos ellos, toda vez que funcionaban en idénticas condiciones; y en tal caso, conocido el daño era cosa fácil remediarlo en los más de los casos.

Con el voltímetro en uso me fue ya fácil corregir otro error de consideración. Observé que la caída de tensión era mínimo 0,6 voltios en el recorrido entre la dinamo y cada tanque, lo que equivalía a un 20% del voltaje total, y por tanto, sólo me permitía disponer de un potencial de 2,4 voltios en los tanques, tensión insignificante, dada la mucha resistencia del líquido o electrolito empleado, por ser de muy poca concentración. Digo que estos 0,6 voltios era la pérdida de tensión mínima ocurrida cuando sólo se empleaban 60 ó 70 amperios, pues cuando esta intensidad aumentaba por cualquier circunstancia, la caída de voltaje por calentamiento, en la resistencia principalmente, alcanzaba a 1 y hasta a 1½ voltios.

Ahora bien, como dije atrás, cada tanque tenía instalado en serie un amperímetro para medir la intensidad y una resistencia para graduarla. En el caso presente, como necesitaba poder disponer de la mayor cantidad posible de electricidad, estas resistencias se mantenían en su mínimo, pero a pesar de todo, siempre había calentamiento. Por esta razón me decidí a seguir lo que estaba indicado, que era suprimir las susodichas resistencias, para lo cual uní directamente los alambres conductores. Gané así unos 0,4 voltios o un aumento de intensidad en cada tanque de un 15%.

Composición del electrolito.

Conformes están casi todos los autores en señalar, para el tratamiento de afinación electrolítica de la plata, soluciones de una concentración en ácido nítrico de 1 a 2%, y como, a pesar de emanar esta afirmación de personas que son autoridad en la materia, no he seguido esta práctica, diré aquí lo que tal determinación me ha hecho tomar.

He empleado soluciones de todas las concentraciones imaginables, tanto en plata como en ácido libre, ya en la práctica o bien simplemente como vía de ensayo, por lo que me creo autorizado para hacer algunas observaciones, basadas principalmente en datos económicos, para mí los más importantes en este caso.

Tomo, por ejemplo, el dato de los ensayos de una solución, hechos en el momento de cambiarla por exigirle así su concentración en cobre, y que dan:

Acido libre.....	1,3%
Plata.....	4%
Cobre.....	4,5%

Para sostener esta fuerza de solución necesitaba, ante todo, limitar a tres el número de tanques, pues de lo contrario bajaba la densidad de la corriente, condición indispensable para mantener elevada la concentración de la plata. El porcentaje de cobre, de 4,5% era el máximo tolerable, y de lo contrario empezaba a precipitarse en los catodos en perjuicio de la pureza de la plata. El 1,3% de ácido libre no es alto si se tiene en cuenta que era preciso aumentarlo a medida que subía la proporción del cobre en solución.

Como por entonces el mayor costo consistía en el valor del ácido nítrico gastado, paso a calcular la cantidad de plata precipitada mientras duraba una solución, y el gasto de ácido nítrico.

Empleando tanque de 70 litros de capacidad, la cantidad de

cobre disuelto hasta obtener una concentración de 4,5 % en la solución, será:

$0,70 \times 4,5 = 3,1$ kilogramos de cobre, y como este cobre proviene de anodos de 0,835 de plata y 0,165 de cobre, la plata disuelta más la precipitada en los catodos será igual a: $\frac{3,1}{0,165} \times 0,835 = 15,6$ kilogramos de plata, pero como tenemos en solución $0,70 \times 4 = 2,8$ kilogramos, resulta en plata precipitada en los catodos $15,6 - 2,8 = 12,8$ kilogramos.

Ahora, como el costo principal de esta afinación provenía del ácido gastado, debido a su elevado precio, paso a averiguar dicha cantidad, para lo cual considero la solución antes anotada ya inútil para cualquier empleo.

Al hablar de ácido me refiero a ácido nítrico del comercio a 40° B°, en el que un litro contiene 85,7 % de HNO_3 y pesa 1,38 kilogramos.

De la fórmula química AgNO_3 puedo deducir la cantidad de ácido necesario para disolver un kilogramo de plata. En efecto: $\frac{83}{168} = 0,583$ kilogramos de HNO_3 anhidro; entonces $\frac{0,583}{0,857} = 0,68$ litros de ácido a 40°, o en kilogramos $0,68 \times 1,38 = 0,938$.

De manera idéntica procedo con la fórmula del nitrato de cobre, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, y obtengo que cada kilogramo de cobre requiere 3,22 kilogramos de ácido para formar su nitrato.

Por último, el ácido libre en solución será de:

$$\frac{0,70 \times 1,3}{0,857} \times 1,38 = 1,4 \text{ kilogramos.}$$

De donde la cantidad de ácido nítrico necesaria teóricamente para separar los 12,8 kilogramos de plata será:

$$2,8 \text{ kilogramos de plata} \times 0,938 = 2,62 \text{ kilogramos.}$$

$$3,1 \text{ — de cobre} \times 3,22 = 9,98 \text{ —}$$

$$\text{En ácido libre} \quad \quad \quad 1,40 \text{ —}$$

$$\text{Total de} \quad \quad \quad 14,00 \text{ —}$$

Esta enorme cantidad de ácido gastado, 1,08 kilogramos por cada uno de plata precipitada en el catodo, representa un costo demasiado alto para el tratamiento si se tiene en cuenta el precio del ácido nítrico cuyo mínimo entre nosotros es de 0,60 la libra de 460 gramos.

Si a esto agregamos las pérdidas en ácido por desprendimiento de vapores nitrosos y otro gasto no pequeño que ocasionaba la reducción del nitrato de plata de las soluciones viejas a cloruro de plata y luego su reducción con zinc y H_2SO_4 , así como los demás gastos de obreros, combustible de la caldera, reparaciones, etc., se comprenderá muy bien la imposibilidad en que me ví de continuar trabajos en esta forma hasta tanto que recibiera un gran pedido de ácido y estudiaba la manera de introducir algunas mejoras.

Repetidas veces ensayé por ese tiempo la regeneración electro-lítica del ácido. Para esto empleé anodos de carbón y catodos de plata para precipitar ésta primero, pero aunque usé muy diferentes densidades de corriente siempre encontré el mismo tropiezo consistente en que los carbonos eran prontamente atacados por los vapo-

res nitrosos y muy pronto se hacían pedazos sin que hubiera sido posible encontrar cómo evitarlo.

Durante más de un mes trabajé entonces en la afinación con azufre, por fundición a mates, de la que hablé antes e introducida por el Sr. Vogt. Sin embargo estos ensayos no dieron el resultado que era de esperarse y tuve que acudir de nuevo al apartado por el sistema electrolítico, único empleado desde entonces hasta el fin aunque ya en mejores condiciones como veremos más adelante.

Para entonces afortunadamente, como disponía de más tiempo por haber terminado mis estudios, podía prestar mayor atención al trabajo y además trabajaba en mejores circunstancias que anteriormente.

En efecto, disponía de una gran cantidad de ácido recibido de los Estados Unidos y liquidado a un precio de \$ 0-30 la libra; contaba con el motor y dinamos en perfecto buen estado y también con mayor número de tanques de solución y de precipitación para la plata y el cobre de las soluciones gastadas.

Instalé en el Laboratorio dos tanques pequeños con su amperímetro y voltímetro; tanques que me permitían ensayar de antemano cualquier modificación que creyera útil en la práctica.

A la vez que reanudaba los trabajos para la electrorrefinación de la plata por el sistema ya enunciado, empecé una serie de experimentos para la aplicación del método empleado por el Dr. Wohlwill en un caso análogo al nuestro, o sea en la afinación de la liga de las pequeñas monedas de los Estados Confederados de Alemania, sistema que expuesto por el autor, aunque ya compendiado un poco, se describe así:

“En vista de la necesidad de tratar grandes cantidades de material en poco tiempo, la separación directa del cobre por tratamiento electrolítico parecía ofrecer ventajas especiales. Experimentalmente comprobé que la plata permanecía indisoluble en el electrolito de sulfato de cobre acidulado, aunque estuviera presente en proporción de 30 $\%$. Ocurría sí, que una esponja rica en plata permanecía adherida al anodo; la que facilitaba la formación de sulfato de plata insoluble que impedía la acción del ácido sobre el cobre de los anodos. La manera natural de obviar esta dificultad era remover la plata que cubría el anodo por medios mecánicos y continuar después la electrolisis.

“Cuando una pequeña cantidad de plata pasaba en solución con el cobre, la operación se dificultaba seriamente porque el líquido inmediatamente se hacía lechoso y parte de esta plata era depositada en el catodo. El trabajo en un baño en tales condiciones tenía necesariamente que ser suspendido hasta que toda traza de plata desaparecía. De manera de poder prolongar lo más posible la disolución y precipitación del cobre se halló necesario emplear una muy débil densidad de corriente con solución bastante diluida de sulfato de cobre.

“Ligas con más de 30 $\%$ de plata fueron así ventajosamente tratadas. En el caso de 50 $\%$ o más no se obtenían resultados satisfactorios, por lo que era preciso ligarlas con otras de mayor proporción en cobre, hasta un límite determinado previamente, de acuerdo con todas las circunstancias del caso.”

Volviendo a mi caso, era claro que no podía emplear este sistema en las condiciones indicadas antes, pues estaba a la vista la antieconomía de reducir la plata de 0,835 a 0,300 ó 0,400, pero como a su vez tal sistema presentaba incomparables ventajas, a saber: la economía en ácido nítrico y el valor del cobre electrolítico obtenido, estaba en la obligación de estudiar siquiera su adaptabilidad en la Planta Electrolítica de la Oficina de Apartado.

Sin probabilidades de éxito empecé el ensayo con anodos a la ley de 0,835, electrolito de sulfato de cobre al 2,5 % en cobre, ácido sulfúrico libre al 1 % y densidad de corriente de un amperio por dec.² El resultado no fue ni más ni menos de lo que esperaba; la solución al ser atravesada por la corriente se hizo lechosa y el depósito de cobre en lugar de ser denso, adhesivo y del hermoso color del cobre puro, se formaba en copos esponjosos de un color rojo claro debido a la presencia de la plata. La solución ensayada dio a las seis horas de trabajo, 0,07 % de plata.

De nada me valió bajar la densidad de corriente a $\frac{1}{2}$ amperio por dec.² ni tampoco suprimir el ácido libre, pues los resultados fueron siempre los mismos.

No fui más afortunado empleando anodos de 0,700 de plata. A pesar de esto y de colocar un filtro entre los electrodos, la plata se presentaba en el cátodo aunque en menor proporción que en el caso anterior, no obstante haber empleado distintas soluciones.

De allí no me era posible pasar adelante, pues aun suponiendo un éxito completo con anodos a la ley de 0,550 en plata no resultaba económico dado el bajo equivalente electroquímico del cobre; en efecto, para obtener la misma cantidad de plata por cada uno de los sistemas electrolíticos de plata y cobre, con anodos a la ley de 0,835 el primero y de 0,550 el segundo, suponiendo una eficiencia de 100 % en cada uno de ellos, tenemos que, dada la cantidad de plata precipitada por amperio hora, 4,026 gramos, para precipitar 1,000 gramos necesito: $\frac{1,000}{4,026} = 248$ amperios horas.

Y para disolver y precipitar el cobre ligado a 1,000 gramos de plata de 0,550 o sea $\frac{450 \times 1,000}{550} = 818$ gramos de cobre, necesitaría: $\frac{818}{1,186} = 689$ amperios horas.

Este considerable mayor gasto de corriente eléctrica sumado al costo de instalación que exigiría el empleo de tan baja densidad de corriente, en construcción de tanques, etc., etc., me obligó a parar allí y acomodarme definitivamente al sistema empleado entonces.

Preparación del electrolito.

Decidido al fin por la separación electrolítica de la plata, debía proceder con la mayor economía y prontitud para atender al compromiso de mantener provisión de liga de 0,900 suficiente a las necesidades de la Casa de Moneda.

Empecé en un principio por averiguar el mejor método de preparar la solución nueva o electrolito, lo que determiné después de varios ensayos.

Tres métodos principales pueden seguirse para el caso:

Consiste el primero en disolver en ácido concentrado cierta cantidad de plata para obtener una solución que después de diluida dé

al título requerido, tanto en ácido como en nitrato de plata. Aunque de rápida preparación presentaba el inconveniente del mucho gasto en ácido y también que, por tratarse de cantidades relativamente altas, era de difícil manejo. Por esta razón lo usé pocas veces empleando en su lugar cuando me era posible, ácidos usados de los Laboratorios de Ensayes que por su concentración en plata prestaban buenos servicios.

Para adoptar el segundo, por vía electroquímica, necesitaba disponer de una alta densidad de corriente. En mi caso podía disponer de una corriente eléctrica de 2,8 voltios de tensión máxima, la que, dada la resistencia de la solución sólo equivalía a $1\frac{1}{2}$ ó 2 amperios por dec². De nada me valió emplear soluciones a temperaturas de 60 a 70° C.° pues si bien en un principio se aumentaba el amperaje, los resultados no correspondían al trabajo que ocasionaban, debido a que el líquido se enfriaba rápidamente.

Queda por último el tercer procedimiento, el cual he adoptado definitivamente en la práctica.

Consiste éste en reemplazar con agua solamente una parte de la solución gastada, para así disminuir el porcentaje en cobre a un grado no perjudicial. Conseguía con esto, además de gran facilidad en la operación, empezar el trabajo en todo caso con solución cargada de cobre, plata y ácido nítrico, la que por lo tanto sólo ofrecía una resistencia normal al paso de la corriente.

Para determinar la cantidad de solución que debía en cada caso reemplazar, me basaba siempre en datos numéricos, obtenidos por ensayos.

Como conocía de antemano la cantidad de cobre disuelto por hora en cada tanque, la capacidad en litros de cada uno de ellos y las horas que debía trabajar entre dos sacas consecutivas de plata, bastaba una vez hecho el ensayo de la solución vieja, calcular la cantidad que debía reemplazar con agua para que en cierto número de horas, determinado con anticipación, llegara la solución a 4% en cobre, porcentaje máximo con que trabajaba.

Acido libre.

Necesitaba averiguar de manera exacta la cantidad de ácido que debía agregar para la buena marcha de la operación. Conocida la eficiencia obtenida en la afinación y también el amperaje de la corriente en cada tanque, bastaba una serie de operaciones aritméticas para averiguar la cantidad de ácido que debía agregar con el objeto de mantener constante la proporción de ácido libre, pero me faltaba determinar cuál debería ser esta proporción. Como era este un dato que sólo podía deducirse prácticamente, me puse a la tarea.

Con tal fin empleé distintos porcentajes de acidez, bajando desde 1% hasta 0,1%. En un principio, de 1 hasta 0,3% no encontré diferencia sensible, pero pasando un poco de allí, a 0,2% por ejemplo, la solución perdía en gran parte su transparencia y empezaba a precipitarse la plata en los catodos en forma esponjosa que llenaba el tanque en muy poco tiempo y sobrenadaba en la solución. La superficie del precipitado volvía negra por la presencia de cobre, lo que hacía bajar notablemente la ley en plata del depósito. La eficiencia obtenida entonces era muy baja, pues no

llegaba a 50 ‰, por ser casi imposible evitar los cortos circuitos en los tanques, debido al gran volumen de la plata depositada.

Por tales razones, adopté el 0,3 ‰ como mínimo de acidez, de allí en adelante, con muy buenos resultados. Al empezar el trabajo en cada tanque agregaba el ácido necesario hasta obtener el 0,35 ó 0,4 ‰ y reforzaba cada hora y media la solución a este título, de acuerdo con el amperaje señalado durante todo este tiempo.

De esta manera obtuve un precipitado de plata muy fino y bastante denso, evitando, además, la precipitación de cobre siempre que la acidez en la solución no bajara de 0,3 ‰. Así el ácido desperdiciado en las soluciones viejas era casi nulo.

Concentración en plata.

Hágame hacer mención de la economía alcanzada, con el empleo de soluciones a baja concentración en plata. Su tenor, en el electrolito últimamente empleado, sólo llegaba a 0,3 ‰, consiguiendo con esto dos fines:

1.º Una gran economía en ácido, pues si antes al renovar una solución de 4 ‰ se desperdiciaban: $4 \times 0.70 \times 0,938 = 2,62$ kilogramos de ácido, últimamente se había reducido la pérdida a 0,19 kilogramos.

2.º Para reducir ese 4 ‰ de plata que resultaba en forma de nitrato en la solución vieja, necesitaba precipitarla en forma de cloruro y luego reducirla por medio de zinc y ácido sulfúrico. Dado el alto precio de estos dos ingredientes me resultaba el costo de reducción de cada kilogramo de plata en \$ 0,35 oro.

Movimiento del electrolito.

Aunque no tan importante en tanques horizontales, como lo es en los verticales, sí es indispensable aun en éstos agitar a menudo el electrolito para hacerlo uniforme. La diferencia de densidad de la solución, naturalmente más pesada cerca al anodo que la del cátodo, que en los tanques verticales es tan perjudicial, por separarse en dos columnas si no se agita, sirve antes de ayuda a la circulación del electrolito en los horizontales en especial, si como los del sistema nuestro tienen los anodos suspendidos del tanque, encima de los cátodos, porque su diferente densidad ocasiona un movimiento idéntico al del agua al calentarse en su parte inferior.

No siendo adaptable entre nosotros el sistema Moebius de tanques horizontales con cátodos rotatorios y circulación automática del electrolito (sistema que considero perfecto, pero de enorme costo), la única forma práctica y sencilla de agitación es por medios mecánicos y la hacía un obrero que constantemente asistía la Planta y que por su poco que hacer podía ocuparse principalmente en este asunto.

El movimiento del electrolito fue uno de los obstáculos con que tropecé en las dos veces que instalé un tanque vertical, sistema Moebius, por ser en éste absolutamente imprescindible la a circulación continua y muy difícil de establecer en un solo tanque.

Resumen de las diversas operaciones.

Trabajaba con las resistencias de las dos dinamos en su mínimo y el voltaje en la dinamo excitadora a 110 voltios. Las revolu-

ciones a que funcionaban estas dinamos eran de 1,650 y 1,100 por minuto, para la excitadora y la grande respectivamente.

El electrolito de 0,3 % de ácido, 0,2 a 0,3 % de plata y hasta 4 % como máximo de cobre.

La densidad de corriente de $1\frac{1}{2}$ amperios por dec², y a 2 cuando funcionaba en las mejores condiciones.

La eficiencia obtenida era sólo de un 70 % y se debía este resultado principalmente a los muchos descuidos que ocurrían durante la noche y que me fue imposible evitar.

Tratamiento de la plata de los catodos.

La sacada de los precipitados catódicos, operación que tenía lugar cada 24 horas, la hacía un obrero desmontando cada tanque para vaciar la solución por medio de sifones a un tanque especial y luego los precipitados sobre filtros de tela hechos a propósito. Para colocar estos filtros traía la Plauta barriles agujereados en el fondo, los que usé en un principio, pero como por ser demasiado pequeños presentaban dificultades para el lavado, hube de reemplazarlos por rejas más amplias y más propias para el caso.

El lavado de la plata representa una de las operaciones más importantes de la afinación e influye notablemente en la ley resultante.

Cuando empleaba los barriles ya mencionados procedía así: calentaba agua de lluvia hasta la ebullición, la que luego echaba en cantidad de 80, a 100 litros sobre la plata, agitando ésta constantemente para arrastrar consigo el cobre y la plata existentes allí en forma de nitratos.

Los resultados obtenidos de tal manera eran deficientes; la ley de la plata sólo subía a 0,970 ó 0,980 y además sucedía que el nitrato de cobre que permanecía allí por deficiencia del lavado, se reducía en parte al bióxido infusible, en forma de un polvo negro y en parte obrando sobre el crisol lo destruía prontamente; para evitar lo cual procedí de la manera siguiente:

Vaciaba el precipitado sobre un filtro colocado en una reja de madera; a esta plata agregaba unos 50 litros de agua de lluvia, con el objeto de recoger el poco nitrato existente y recibía esta solución en tanques. Luego sacaba la reja al patio y empezaba el lavado en forma haciendo percolar una corriente de agua a través de la plata que era removida constantemente. Empleaba agua potable y no llovida en este caso, 1° por ser más sencillo y 2° para que el cloruro de esta agua obrara sobre el nitrato de plata si lo hubiera y evitara así cualquier pérdida. El fin del lavado estaba señalado cuando ya ninguna traza de cobre salía en solución, logrando de esta manera obtener plata de 0,995 de fino.

Fundición.

La plata así lavada y bien seca era llevada a la fundición para reducirla a barras o tejos. Allí, sin necesidad de fundente alguno, era puesta al horno en crisoles de plumbagina. Para proteger el crisol contra la acción del nitrato de cobre, se agregaba desde un principio polvo de carbón de leña, el que también se añadía a tiempo de vaciar para impedir que salieran hervidas las barras, por la presen-

cia del gran exceso de aire absorbido por la plata, todo lo cual da ba resultados muy satisfactorios.

Ya la plata en barras y ensayada cuidadosamente se refundía con otras de 0,835 en cantidad calculada para obtener lingotes a la ley de 0,900, siendo esta ley a que debían entregarse a la Casa de Moneda.

Aprovechamiento de las soluciones gastadas.

Estas soluciones contienen:

Cobre.....	4 ^o / ₁₀
Plata.....	0,2 ^o / ₁₀
Acido libre.....	0,3 ^o / ₁₀

La cantidad diaria era de 65 a 75 litros, y había que tratarlas para obtener el máximo de aprovechamiento posible antes de botarlas.

Después de repetidos ensayos hechos con objeto de regenerar el ácido por medio de la precipitación de la plata y cobre electrolíticamente y del mal resultado obtenido en ellos, debido principalmente a la mala calidad de los carbones empleados como anodos, tuve necesidad de conformarme con separar la plata y parte del cobre, ya que no disponía de medios para hacer otra cosa.

En tinas especiales agregaba a dicha solución hasta un pequeño exceso del cloruro de sodio para la formación del cloruro de plata.

La solución decantada la trataba con hierro en tanques de madera por cuatro o cinco días y luego la botaba todavía con un título de 1 a 1½^o/₁₀ en cobre, para reemplazarla por otra.

Reducción del cloruro de plata.

Para la reducción de este cloruro me valía de la acción reductora, tan conocida, del zinc sobre el cloruro de plata en presencia de solución acidulada con ácido sulfúrico.

No sé exactamente la cantidad empleada de uno y otro en la reacción, por tratar siempre cantidades de cloruro de peso desconocido y consumir, por lo tanto, un exceso de aquéllos hasta obtener la reducción completa a plata metálica; no obstante, el problema en las distintas operaciones ha sido:

Plata reducida	1.000 gramos.
Zinc gastado.....	370 —
H ₂ SO ₄ a 60° B°.....	480 —

El hidrógeno desprendido en la reacción es un poderoso agente reductor y descompone el cloruro de plata mucho más rápidamente que el zinc en presencia de agua.

Para averiguar cuándo la reacción es completa, basta tomar un poco de la plata, lavarla con amoníaco, filtrarla y a este filtrado agregar ácido nítrico. Como el cloruro de plata es soluble en amoníaco, si lo hubiere, será precipitado de nuevo al hacerse ácida la solución.

Al fundir la plata así reducida se agregaba un poco de carbonato de sodio como reductor del cloruro de plata al estado de fusión que pudiera existir todavía.

Ensayos de las soluciones.

Estos ensayos hechos al día una o varias veces, según el caso, se reducían casi exclusivamente a averiguar el tenor en ácido libre, plata y cobre del electrolito.

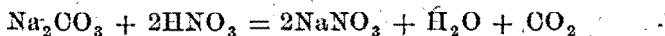
Por medio de estos análisis cuantitativos hechos por vía húmeda me era fácil comprobar rápida y exactamente si el trabajo había sido normal, y si, por el contrario, alguna irregularidad se notaba, corregirla luego.

Adoptado el sistema volumétrico para estos análisis, me propongo explicar aquí el método de preparar las soluciones tituladas, así como la manera de operar en cada ensayo.

Ensayo para ácido nítrico.

Aunque son muchos los reactivos que podría usar en este caso, empleaba con preferencia el carbonato de sodio Na_2CO_3 .

Para preparar la solución titulada de Na_2CO_3 , me basaba en la siguiente reacción química:



De los pesos moleculares de estas dos sustancias, 106 para Na_2CO_3 y 63 para HNO_3 , tengo que una molécula o 106 en peso de Na_2CO_3 puro neutralizará dos moléculas o 126 en peso de HNO_3 . Ahora, si quiero averiguar cuánto Na_2CO_3 neutralizará 1 gramo de HNO_3 , tengo la siguiente proporción:

$$\frac{126}{106} = \frac{1}{x} \quad \therefore x = 0,84 \text{ gramos de } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ para uno de}$$

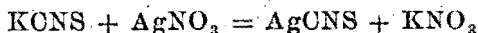
HNO_3 y para 0,01 gramo de ácido solo necesitaría 0,0084. De manera que para preparar un litro de solución titulada de carbonato de sodio en que cada cc. neutralice 0,01 gramo de ácido nítrico basta disolver 8,4 gramos de Na_2CO_3 puro ya calcinado, en 1,000 cc. de agua destilada.

Para hacer el ensayo se procede así: se toman, por ejemplo, 10 cc. de la solución por estudiar y se le agregan unas pocas gotas de fenolftaleína como indicador. Por medio de una bureta graduada se agrega gota a gota la solución titulada de Na_2CO_3 , hasta que un color rosado indique exceso de este reactivo, por lo cual se suspende la adición. El número de cc. marcado en la bureta, multiplicado por 0,01 y por 10, dará el porcentaje de acidez.

Ensayo de plata.

Por no ser en este caso adoptable el ensayo por precipitación a cloruro, a pesar de ser el más conocido para análisis de plata por vía húmeda, se emplean en su lugar soluciones tituladas de sulfocianuro de potasio o de amonio; hablaré aquí del sulfocianuro de potasio KONS:

El nitrato de plata da un hermoso precipitado blanco de sulfocianuro de plata, soluble en exceso de amoníaco.



De aquí tengo que 97 partes en peso de KONS son necesarias para 108 de Ag y para 1 de Ag tengo:

$$\frac{108}{97} = \frac{1}{x} \dots x = 0,898$$

Ahora para preparar una solución en que cada cc. contiene 0,01 gramo de Ag, disuelvo 8,98 gramos de KONS puro en un litro de agua destilada. Es más fácil disolver 10 u 11 gramos de KONS en lugar de 8,98 y luego rectificar la solución con plata pura y ajustarla a 0,01, si se quiere.

Para hacer el ensayo se procede como en el caso anterior, pero aquí se emplea como indicador unas gotas de sulfato o nitrato férrico. En efecto, apenas haya un pequeño exceso de KONS el color, rojo de sangre, del sulfocianuro férrico indicará al instante que debe pararse el ensayo. Esta coloración se muestra aun en soluciones excesivamente diluídas, y por este medio puede aproximarse hasta 1 ó 2 miligramos de plata.

Ensayo para cobre.

Agregando amoniaco a una sal cúprica se forma un precipitado de hidróxido de cobre, de color azul verdoso; este precipitado es muy soluble en el exceso de amoniaco, y dará una hermosa solución azul. Si a ésta se echa luego solución de cianuro de potasio, el líquido se descolora; propiedad que se aprovecha para los ensayos de cobre.

De las fórmulas químicas KCN y Cu(CN)₂ deduzco que 4 moléculas del 1.º, o sea $65 \times 4 = 260$ en peso de KCN, son necesarias para una de cobre, o sea 63, se forma K₂Cu(CN)₄, de donde resulta que 1 gramo de cobre necesita 4,12 gramos de KCN. Para preparar la solución titulada en que 1 cc. señale 0,01 gramos de cobre, deben tomarse unos 50 gramos de cianuro por litro en lugar de 41,2 que debiera ser si no contuviera agua, y esta solución será rectificada por análisis con cobre puro a la fuerza de 0,01 si se quiere.

Para averiguar el cobre de una solución que contenga plata, se procede así: tomo 20 cc. de la solución y agrego exceso de cloruro de sodio para precipitar la plata determinada de antemano por KONS, y anoto el cloruro añadido; supongo 10 cc. para el cloruro de sodio gastado, y filtro el precipitado de cloruro de plata. Del filtrado tomo luego la mitad de $20 + 10 \text{ cc.} = 15 \text{ cc.}$ para el ensayo de cobre. A estos 15 cc. agrego amoniaco en exceso y la solución titulada de KCN, hasta que la coloración azul desaparezca completamente, y anoto los cc. gastados, por ejemplo, 30 cc; entonces tenemos, supuesto cada cc. de esta solución equivalente a 0,01 gramos de cobre:

$$30 \times 0,01 \times 10 = 3\% \text{ de cobre.}$$

Los ensayos hechos por este sistema son de mucha exactitud.

La solución titulada no se conserva en buen estado mucho tiempo, por lo cual se aconseja no preparar sino pequeñas cantidades a la vez y rectificarla con frecuencia.

SEGUNDA PARTE

MONEDA

SU IMPORTANCIA Y SU AMONEDACIÓN EN COLOMBIA

I. Consideraciones generales.

a) Toda pieza de moneda debe ser considerada como un bono sobre el conjunto de las riquezas existentes.

Generalmente es tenido el numerario, si no como la sola riqueza, cuando menos como la más importante, y parece no estimarse ésta sino en razón de la cantidad de moneda que representa y que permite adquirir.

En cambio los economistas, partiendo de un punto de vista muy distinto, lo han tratado con soberano desprecio, comparándolo a una mercancía cualquiera, y aun en grado inferior; pues, por sí misma, es incapaz de satisfacer la más pequeña necesidad, y por consiguiente es la única de la cual puede decirse que su abundancia o su rareza son cosas igualmente indiferentes. Si hay pocas piezas de moneda cada una tendrá un poder de adquisición más considerable; si hay muchas, este poder será más limitado.

Unos y otros tienen razón. Considerado un individuo, para él el numerario es la principal riqueza, pues además de ser el único instrumento de adquisición directo, es el solo instrumento de liberación reconocido como tal.

La tesis de los economistas, en virtud de la cual la mayor o menor cantidad de numerario es cosa indiferente, resulta más exacta. Poco importa, en efecto, ver decuplicada la cantidad de numerario que pueda yo tener en mi posesión, si lo mismo ocurre a todos los demás miembros de la sociedad. En esta hipótesis no seré yo más rico, pues la riqueza es cosa relativa, desde que la suma total de riqueza que pueda pretenderse adquirir con dicha moneda no resulta acrecentada: en adelante cada pieza de numerario no dará derecho más que a una parte diez veces menor, o en otros términos, todos los precios resultarán decuplicados y mi situación quedará siendo la misma.

La tesis de que la mayor o menor abundancia de numerario es cosa indiferente, no resulta en absoluto sino comprendiendo todo el género humano en su conjunto. Así, por ejemplo, si la moneda existente en un país cualquiera llegara a decuplicarse, en nada cambiaría la respectiva situación, en sus relaciones de unos habitantes para con otros, pero sí respecto de los países extranjeros.

b) Depreciación de la moneda.

La depreciación de la moneda metálica es un hecho demostrado por todos los documentos históricos. Según éstos, el valor del dinero era:

En el año de	850	-----	9
—	1500	-----	6
—	1750	-----	3
—	1890	-----	1

La posibilidad de que esta curva gráfica ha de continuar su marcha descendente parece, pues, muy probable. Además, el adelanto creciente de los procedimientos metalúrgicos para la extracción del oro y de la plata hará que estos metales abunden más cada día y por consiguiente se deprecie su valor.

La producción mundial del oro que para el año 1850 fue avaluada en \$ 35.000,000 oro, en 1860 ascendió a \$ 140.000,000 y llega hoy día a la enorme suma de 600.000,000; aumento que no corresponde al incremento de las necesidades.

Naturalmente que en apariencia este aumento de la producción de oro en bruto no altera su precio, pues que está avaluado en moneda de oro, y mientras esta circunstancia dure el oro valdrá a \$ 0,6817 el gramo, pero ocasionará la subida de los precios y tendrá por única consecuencia desagradable el tener una moneda cada vez más pesada con relación a su valor.

De las varias causas que influyen sobre el precio de la moneda conviene anotar:

La mayor o menor cantidad de numerario, que por la ley de la oferta y la demanda influye en su valor.

La mayor o menor rapidez de circulación de la moneda que, como equivalente a una variación en la cantidad, produce el mismo efecto. Esta rapidez de circulación depende a su vez de la densidad de la población siendo mucho mayor en las ciudades que en el campo.

Por último, el mayor número de actos de cambio obra también sobre el valor de la moneda, pero en sentido inverso de los dos anteriores, es decir, que cuántos más cambios haya que efectuar más solicitada estará la moneda y por consiguiente mayor será su valor.

c) Condiciones necesarias a una buena moneda.

Toda moneda legal debe tener un valor metálico rigurosamente igual a su valor nominal.

El sello que un Gobierno aplica a cada moneda tiene, pues, por único objeto certificar que la pieza tiene realmente el valor allí marcado y que le está permitido circular libremente.

Siempre que el precio asignado a la moneda corresponda, como lingote, al precio del metal en el mercado, se dirá que la moneda es buena.

Para mantener el equivalente entre el valor del lingote y el de la moneda es de regla en todo buen régimen monetario dejar a quien quiera la facultad de amonedar; se entiende, naturalmente, por intermedio de la Casa de Moneda Oficial, lo que se llama libertad de acuñación. Si la pieza de oro fuera superior a la del lingote, cada cual se aprovechará para hacer amonedar y esto restablecerá el equilibrio; y si por el contrario la moneda tuviere mayor valor, éste podría aprovecharse reduciéndolo a lingotes por medio de previa fundición. Aquí la aplicación de un axioma económico que dice: Siempre que dos objetos pueden transformarse a voluntad uno en otro, tienen necesariamente igual valor.

Existe también otra clase de moneda de un valor intrínseco inferior a su valor legal, nombrada moneda de vellón. Suelen ser de poco valor, generalmente de cobre o níquel, también de plata, no empleadas para pagos importantes, sino sólo en sumas pequeñas.

Para éstas no existe la libre acuñación ni tienen el carácter de moneda legal, por lo que no es de forzosa circulación sino en sumas limitadas por los Gobiernos.

II. LA MONEDA EN COLOMBIA

a) Consideraciones sobre la moneda de papel.

Bajo la responsabilidad del Banco Nacional de Bogotá, fundado en el año de 1881, se mandó emitir por primera vez según Decreto de 8 de Enero de 1885 una suma cuatro veces mayor que la que el Banco tuviera en metálico, pagarés de Aduana y obligaciones particulares. Por decretos y leyes sucesivos fueron autorizadas nuevas emisiones para atender a gastos urgentes del Gobierno, en especial a los de la guerra de 1895 y a la de los tres años.

En resumen: la emisión de billetes empezada con \$ 1.000.000 bajo la responsabilidad del Banco Nacional, fue elevándose gradualmente hasta la enorme suma de \$ 746.000.000, suma emitida hasta el 18 de Febrero de 1903. Según informe de la Junta de Conversión al Congreso de 1915 el total de la masa fiduciaria circulante en billetes legales, hoy día (ediciones inglesa y americana), alcanza a \$ 1.003.585.875 papel moneda.

A estos billetes, que en un principio equivalían a monedas de plata a la ley de 0,835 según Decreto número 448 de 1886, se les asignó por las leyes 19 y 59 de 1905 la equivalencia de 100 pesos papel moneda por un peso oro.

Por el artículo 7.º de la Ley 70 de 1913 se autorizó a la Junta de Conversión para contratar una edición de billetes representativos de oro. En cumplimiento de esta ley, dicha Junta contrató con la "American Bank Note Co." la cantidad de billetes en pesos oro necesaria para el cambio del papel moneda, cambio que desde el 1.º de Marzo del presente año viene haciéndose por las Comisiones de Cambio y los Bancos del país.

El propósito de los legisladores al ordenar el cambio del papel moneda por billetes representativos de oro ha sido el establecer un papel bancario respaldado suficientemente por el Fondo de la Junta de Conversión.

El monto del Fondo de la Junta de Conversión, destinado a respaldar estos billetes y a convertirlos a su presentación, alcanza hoy día a un 50 70 de los billetes en circulación (esto teniendo en cuenta el valor de las esmeraldas depositadas en París, \$ 2.000.000 oro), porcentaje que irá aumentando día por día siempre que se insista en conservar las rentas destinadas para acrecentarlo y consistentes en: 2 70 sobre los derechos de importación; el producto total del arrendamiento de las minas de Supía, Marmato, Santa Ana y La Manta, y el total rendimiento de las minas de esmeraldas de Muzo y Cosquez.

Si así sucede como es de esperarse, queda ya resuelto favorablemente el problema de la conversión del papel moneda y tendrá Colombia en adelante una moneda fiduciaria que en el curso de pocos años estará tan bien respaldada como lo está hoy día en los países más prósperos de América.

b) Moneda de plata y níquel.

La cantidad a que ascendía la acuñación de plata hecha por cuenta de la Junta de Conversión era de \$ 3.999,474 oro, suma que estaba dentro del máximo de \$ 4.000,000 fijado por la Ley 70 de 1913. Más tarde según la Ley 128 de 1914 sobre arbitrios fiscales, el Gobierno autorizó la acuñación hasta de \$ 2.000,000 en monedas de plata, de las cuales se había mandado acuñar hasta el mes de Julio de 1915 la cantidad de \$ 1.340,000 oro.

Aunque en algunos centros, como Bogotá y Medellín, se ha notado en ocasiones gran exceso de monedas de plata, se debe principalmente a que, ha sido allí donde en mayor cantidad se ha lanzado a la circulación, pero poco a poco ha venido extendiéndose por todos los puntos de la República y ya se nota que apenas existe la cantidad necesaria para llenar el vacío que dejan los billetes de \$ 50 p. m. suprimidos en la edición de los billetes representativos.

Las monedas de níquel, autorizadas por la Legislatura en cantidad de \$ 100.000,000 p. m. en monedas de \$ 1, 2 y 5 p. m., está hoy totalmente emitida sin que tampoco se note demasiada abundancia.

c) Moneda de oro.

Desde la creación de la Junta de Conversión, las fluctuaciones del cambio del papel moneda por oro han variado muy poco al rededor del 10,000 ‰. Con la autorización de la circulación de las monedas de oro inglesas se normalizó más todavía, en especial desde que dicha Junta tomó a su cargo la introducción de ésta cuando así lo creyera conveniente y el atender oportunamente al cambio de las especies metálicas unas por otras y por papel moneda.

El Gobierno de Antioquia, visto el doble desembolso que sufría el comercio del país con la exportación del oro e introducción de monedas extranjeras, resolvió tomar por su cuenta, previa autorización del Gobierno Nacional, el montaje conveniente para atender a la amonedación en la Casa de Moneda de Medellín.

Muchos enemigos tuvo esta determinación, en especial en otros Departamentos. Consideraban algunos que esta moneda sería depreciada en el mercado del país y rechazada fuera de él. Aunque ya personas más competentes han refutado estas opiniones, algo diré en apoyo de nuestra moneda:

I. Razones en pro de la moneda de oro colombiana.

Algunos opinan que dada la universal aceptación de la moneda inglesa, podría adoptarse ésta en el mercado en reemplazo de otra nacional. Afirmaban también que una moneda colombiana por perfecta que ella fuera no sería admitida en otros países sino como oro, perdiéndose así el valor invertido en la amonedación.

Nada digo en contra de lo primero. Supuestas en circulación las dos monedas, inglesa y colombiana, ninguna razón habría que alegar en pro de una de ellas, pues su valor intrínseco es el mismo; pero el costo hasta obtener estas dos monedas en el mercado sí es muy diverso y en esto me tundo para apoyar la libra colombiana,

Los gastos de remisión de una barra de oro desde Medellín a Londres representan un 3 % de su valor, y los de introducción de oro amonedado un 2 % más o menos. En cambio, la moneda colombiana podría obtenerse con sólo un 3 % sobre el valor en oro: 1 % para gastos de amonedación y 2 % para los de afinación; de donde resultaba una economía de más de 2 % sobre la inglesa, fuera de otras muchas ventajas.

Además, la amonedación de oro tiende a normalizar el tipo del cambio. Anteriormente por escasez de numerario se veía con frecuencia la depreciación de los giros sobre el Exterior y no era raro comprar oro en barras al tipo de 9,500 %, todo en perjuicio de la industria minera. Hoy día, mientras existe la facilidad de amonedación puede asegurarse que el precio de las barras no será en ningún caso menor del 10,000 al 9,950 % lo que es mucha garantía.

Como algunos habrá que no entienden el por qué, paso a explicarlo brevemente.

Al calcular el valor de una barra de oro después de fundida y ensayada, se deduce de su precio en Londres (a razón de \$ 0,6817 el gramo) el valor de todos los gastos hasta entregarla lista para ser amonedada. Como estos gastos según se dijo atrás representan de ordinario un 3 %, suma igual a los derechos de la Casa de Moneda por afinación y amonedación, puede responderse y así lo hacían en dicha Casa, que el producido en oro amonedado será al menos igual al del avalúo hecho por el Laboratorio donde se fundió y equivaldrá por lo tanto a venderla al tipo del 10,000 %. Siendo la acuñación de oro permitida a los particulares, ninguno de ellos dejará de hacerlo amonedar con esa garantía por venderlo con descuento a otro cualquiera, todo lo cual confirma lo dicho atrás.

II. Perfección de nuestra moneda de oro.

Condición indispensable de toda buena moneda es tener un valor intrínseco igual al marcado por el sello del Gobierno, y en contra de esto nada puede objetarse a nuestra moneda. Según Ley de 1915 la libra colombiana tiene un peso de 7,988 gramos que a la ley de 0,916 y $\frac{2}{3}$ y al precio de \$ 0,626 el gramo de esta liga, vale \$ 5 oro.

Dada la respetabilidad de la Casa de Moneda de Medellín, inútil parece mencionar el cuidado y escrupulosidad con que son revisadas todas las monedas antes de darlas a la circulación.

En efecto, como conocedor de lo que afirmo, puedo asegurar que las repetidas comprobaciones tanto para el peso como para la ley, llevadas a cabo en cada operación, dejarían satisfecho al más exigente; además de que allí se dispone de los mejores elementos necesarios para el caso, como son: una balanza automática de pesar monedas, lo mejor que se fabrica; balanzas de ensayos de alta precisión, y, en fin, cuanto puede necesitarse en el Laboratorio de ensayos más completo.

La liga de las monedas de oro puede ser de cobre o plata y hay libertad para emplear una u otra.

Aunque parezca inverosímil, en algunos casos resulta más económico usar plata en proporción de 40 ó más milésimos a sustituir-la por cobre por ser más costosa la total separación de esta plata. Esto se nota en las monedas antiguas de Australia y también en parte entre nosotros. La moneda con liga de plata, aunque de un color pálido, no es mala como algunos han llegado a afirmarlo refiriéndose a la libra colombiana, sino que antes por el contrario tiene un valor mayor del que representa, lo que ha quedado confirmado por algunas refundiciones de moneda hechas en meses pasados en la que dejaban mayor utilidad las libras colombianas que las inglesas.

Ninguna imperfección tiene el sello de nuestra moneda que la haga inferior a la inglesa.

Su grabado, obra del artista Cano, premiado en concurso abierto, ofrece, además de su belleza, la cualidad de ser infalsificable como se comprende a primera vista.

Dejando a un lado la importancia que pueda tener para el país el poseer moneda propia, queda demostrado que la Casa de Moneda constituye para Colombia y en especial para Antioquia (por ser el Departamento más productor de oro), una gran fuente de riqueza.

Debido a lo deficiente de nuestra estadística nacional, no me ha sido posible averiguar el monto a que ascendieron las importaciones de oro amonedado, en los años de 1910 a 1914, suma que no es aventurado calcular en más de \$ 4.000.000 oro, lo que representa una erogación para el país de \$ 200.000 pagados de tributo a países extranjeros, pues si bien no toda esta suma representa mayor gasto sobre la amonedación en el país, hay que tener en cuenta que el porcentaje pagado por amonedación aquí contribuye a aumentar el caudal público.

Mucho se dijo por la prensa, en meses pasados, en contra de algunas personas que emprendieron la amonedación de oro (para librarse de pagar el impuesto de 1 % con que el Congreso de 1914 gravó la exportación de monedas) y atender a fuertes compromisos en el Exterior. Por mal entendido patriotismo, creían algunos encontrar culpabilidad en quienes tal hacían, como si no obraran en uso de un derecho legal y en nada contrario al amor patrio.

Consideraban aquéllos perdido el gasto de amonedación cuando en realidad este gasto estaba ya superabundantemente retribuido.

En efecto, cuando se emprendió la amonedación era porque había escasez de numerario y exceso de giros sobre el Exterior. Si entonces no se hubiere acuñado el oro, habría ido a aumentar estos giros disponibles que se hubieran depreciado más aún, y con ello habrían sufrido los productores de oro y el país en general.

Orean algunos que hay bienestar cuando hay oro circulante, y no hay tal. Una de las ventajas de la moneda de oro está en la facilidad que ofrece para su conversión en barras y viceversa, pues que esto impide las fluctuaciones del cambio; a esto se debió el haber contenido hace unos 4 meses la depreciación del papel. Unos

\$ 690,000 oro, que entonces se redujeron a lingotes, logró atender a pagos en el Exterior. Si entonces, como lo aconsejaron muchos no se hubiera hecho tal cosa, no hubiera sido posible atender a pagos en el extranjero sino con grandes primas, lo que hubiera sido costear un lujo con que no podía el País a costa de grandes sacrificios.

III. Producción de oro.

La industria minera, una de las principales de Antioquia, está en este Departamento muy desarrollada y toma mayor incremento día por día.

El valor de las exportaciones de metales preciosos del Departamento de Antioquia, según datos suministrados por el "Boletín de Estadística" ascendió.

En el año de 1913 a	\$ 3 282,216 oro-
— — 1914	3 740,715 —

El aumento en estos dos años fue según el cuadro anterior de un 14 $\%$, porcentaje que parece ser mayor para el año de 1915, que aunque no en números exactos se ha calculado, pasa con mucho de \$ 4,000,000 oro.

Es de alabar el proceder del Gobierno Departamental al emprender el montaje de la Casa de Moneda, medida tomada para contener el bajo tipo de las barras, cuyo precio, desde Agosto del año de 1909 no subió siquiera al tipo del 10,000 $\%$ hasta Septiembre de 1912, con grandes pérdidas para los mineros en general. De aquella fecha hasta fines de 1914 las fluctuaciones fueron pequeñas al redor del 10,000 $\%$, pero desgraciadamente los trastornos sobrevenidos por la guerra europea han hecho que las barras se hayan cotizado hasta al 10,700 $\%$ haciendo imposible su amonedación.

Sin embargo, dado el período de bienestar que atraviesa el país en general, creo muy cercano el día en que regularizado el cambio sea un hecho la amonedación ya permanente, lo que vendrá a justificar los esfuerzos de nuestra administración pública para proveerlos de una Casa de Moneda.

CARLOS GUTIÉRREZ

Medellín, Marzo 31 de 1916.

ADICION

Como lo había anunciado, la reapertura de la Casa de Moneda no se hizo esperar, pues fue decretada el 12 de Junio del presente año y fui llamado entonces a ocupar la Gerencia de la Oficina de Apartado y Afinación de Metales, por renuncia que hizo de dicho puesto el Sr. Pascual Gutiérrez, por créerlo incompatible con el de Administrador de la Casa de Moneda.

Con el fin de corresponder a tan inmerecido nombramiento, me he dedicado de lleno a la tarea de mejorarla, sin perder para ello ocasión alguna, hasta alcanzar un rendimiento apreciable y atender a las exigencias del mercado.

Como era de esperarse, la marcha de las operaciones en un principio no fue muy satisfactoria, pero, no obstante, del 19 de Junio al 27 de Julio pude entregar afinados 144,106 gramos de oro puro, por valor de \$ 98,000 oro próximamente, y tuve necesidad de suspender por el alza del precio del oro en barras, que se cotizaba entonces al 10,150 ‰, lo que no permitía su amonedación.

Para secundar la acción del Gobierno Departamental, quien rebajó de 1 a $\frac{1}{2}$ ‰ los derechos de amonedación, la Junta Directiva resolvió cobrar en adelante sólo 1 $\frac{1}{2}$ ‰, aunque para ello dejara la afinación de ser negocio, antes bien, con peligro de tener pérdida, ya que su norma desde la fundación de la Sociedad había sido contribuir al bienestar público.

Con la rebaja del 3 al 2 ‰ para los derechos de afinación y amonedación, quedaba ya mayor margen de negocio a los compradores de oro, y por este motivo el día 16 de Agosto empezó de nuevo la introducción de barras de oro a esta Oficina.

Septiembre y Octubre han sido seguramente los meses en que la Planta ha correspondido peor a los esfuerzos hechos para mejorarla. La dinamo, motor, tanques, &c. &c., trabajaron mal y el porcentaje de eficiencia aprovechado no alcanzó en todo este tiempo siquiera a un 50 ‰.

Del día 22 de Agosto, en que se comenzaron de nuevo trabajos en la Planta, hasta el 12 de Noviembre, se afinaron 291 kilogramos de oro, que equivalen a \$ 200,000 oro, o sea a razón de \$ 75,000 oro mensuales, lo que no es cantidad despreciable, aunque sí deja mucho que desear. Poco mayor era sin embargo la capacidad que calculamos para la Planta Electrolítica cuando hace cuatro meses, en respuesta a un telegrama del Ministro del Tesoro, se contestó más o menos así: "La Casa de Moneda puede acuñar cualquier cantidad de oro que introduzcan; la Oficina de Apartado tiene hoy una capacidad para afinar \$ 80,000 oro mensuales solamente."

Anoto lo anterior para mostrar que nunca he esperado, antes de hoy, mucho de la mencionada Planta, y para hacer fuerza y se me crea ahora que diga que en adelante esta capacidad será doble, o mejor dicho, que creo firmemente poder afinar de hoy en adelante a razón de \$ 150,000 oro mensuales como mínimo, a no ser que por fuerza mayor me vea obligado a suspender trabajos.

De una eficiencia inferior a 50% que sólo obtenía entonces logrado subir en ocasiones a un 90% . Por ejemplo, del 13 al 14 del presente, en que trabajé con 6 tanques a 80 amperios, durante 20 horas, separé 35 kilogramos de plata en los catodos, y su eficiencia en ese tiempo será: $80 \times 6 = 480$ amperios, que multiplicados por 20 horas = 9,600 amperios horas y $9,600 \times 4,026$ gramos = 38,600 gramos de plata debieron precipitarse teóricamente; ahora $35,000 / 38,600 = 90\%$ de eficiencia.

Ya que de la Planta Electrolítica se trata, me honra recordar que hace dos años, cuando por primera vez trabajé en ella, empleé del 17 de Noviembre al 20 de Diciembre en afinar la módica suma de \$ 23,000 oro. Esto para hacer ver cuánto se ha ganado y se gana cada día con la práctica adquirida por los obreros y con el conocimiento completo de su manejo.

No considero sin embargo haber alcanzado el perfecto funcionamiento de la Planta sino que espero poder mejorarla más todavía. Eso sí, creo ya resuelto definitivamente el problema de la afinación de oro y plata en la Casa de Moneda y también que si las circunstancias lo exigieran, con un esfuerzo un poco mayor podría alcanzarse una capacidad de \$ 200,000 oro mensuales; cantidad no despreciable que aumentaría en poco tiempo el medio circulante ya que no hay que pensar siquiera en la posibilidad de importar moneda inglesa en los tiempos que corren.

Las introducciones de oro en barras a la Oficina de Apartado hasta hoy ascienden a \$ 496,864 oro de los cuales corresponden \$ 146,324 a los 15 días transcurridos del mes de Noviembre.

A la Casa de Moneda se debe haber contenido la baja del precio de las barras que llegaron a cotizarse en Junio al $9,720\%$ y que ha ido subiendo hasta venderse hoy al 9,940 y cuyo precio opino será al 10,000 a principios del mes entrante.

CARLOS GUTIÉRREZ

Noviembre 16 de 1916.