

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA

FUNDICION Y REFINACION

DE

PRECIPITADOS AURIFEROS

TRABAJO PARA OPTAR EL GRADO DE

INGENIERO METALURGISTA

SERGIO CRUZ BURGA

OCTUBRE 1992

	<i>Pag</i>
<i>INTRODUCCION</i>	<i>01</i>
<i>I.- FUNDICION</i>	
1.- <i>Tratamiento de Precipitado</i>	<i>02</i>
2.- <i>Carga Fundente</i>	<i>02</i>
2.1 <i>Objetivo</i>	
2.2 <i>Fundamento</i>	
2.3 <i>Reacciones Químicas</i>	
3.- <i>Fundición del Precipitado</i>	<i>04</i>
3.1 <i>Horno de Fundición</i>	
3.2 <i>Crisol</i>	
3.3 <i>Lingoteras</i>	
4.- <i>Interfases</i>	<i>05</i>
5.- <i>Escorias</i>	<i>05</i>
6.- <i>Costos</i>	<i>06</i>
7.- <i>Diagrama de Flujo de Fundición</i>	<i>07</i>
<i>II.- REFINACION</i>	
1.- <i>Objetivos</i>	<i>08</i>
2.- <i>Instalaciones</i>	<i>08</i>
3.- <i>Equipos</i>	<i>08</i>
3.1 <i>Refinación Electrolítica de Plata</i>	<i>08</i>
3.2 <i>Refinación Química de Plata</i>	<i>09</i>
3.3 <i>Refinación Electrolítica de Oro</i>	<i>09</i>
3.4 <i>Refinación Química de Oro</i>	<i>09</i>
4.- <i>Refinación de Plata</i>	
4.1 <i>Refinación Química de Plata</i>	<i>10</i>
4.1.1 <i>Granallado</i>	<i>10</i>
4.1.2 <i>Ataque Químico</i>	<i>11</i>
4.1.3 <i>Diagrama de Flujo</i>	<i>13</i>
4.2 <i>Refinación Electrolítica de Plata</i>	<i>14</i>
4.2.1 <i>Fundición</i>	<i>14</i>
4.2.2 <i>Celdas Electrolíticas</i>	<i>14</i>
4.2.3 <i>Lavado - Fundición</i>	<i>17</i>
4.2.4 <i>Costos</i>	<i>17</i>
4.2.5 <i>Diagrama de Flujo</i>	<i>18</i>

5.- Refinación de Oro	
5.1 Refinación Química del Oro	18
5.1.1 Refinación Química del Oro desde un bullón	18
5.1.2 Refinación Química desde el precipitado	22
5.2 Refinación Electrolítica del Oro	23
5.3 Celdas de Electrodisolución	25

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene la intención de dar a conocer los logros obtenidos durante mi experiencia de varios años en el tratamiento de precipitados auríferos.

Aclaremos y definamos primero algunos términos que iremos usando en el desarrollo del tema:

PRECIPITADO: *Sólido obtenido luego del proceso de precipitación con polvo de Zn a partir de la solución cianurante. Sus características físicas varían de acuerdo a los porcentajes de los elementos metálicos presentes.*

BULLON: *Barra metálica obtenida luego del proceso de fundición de los precipitados. Estando compuesta en un mayor porcentaje por Oro y Plata.*

ESCORIAS: *Sólido de aspecto y comportamiento vidrioso compuesto por boratos y silicatos. Es el deshecho de la fundición que se separa del metal por su menor peso específico.*

FUNDENTES: *Compuestos químicos utilizados con la finalidad de bajar el punto de fusión y oxidar los metales no nobles en el proceso de fundición.*

Los procesos que se pueden seguir dependerán de la composición química del precipitado y la calidad del producto final que se quiera obtener.

I.- FUNDICION.

1).- TRATAMIENTO DEL PRECIPITADO

El precipitado que se recepciona tiene una alta humedad por lo que se procede a secarlo por un lapso no menor a las 16 horas en los secadores contruidos para este fin. Estos secadores son generalmente eléctricos y la temperatura que alcanza es de 150°C.

Concluido el proceso de secado todo el precipitado es pesado, con mucho cuidado en el manipuleo (su granulometria es 86% menos malla 400), en operaciones bruscas se generan mucha perdida de finos. Luego del homogenizado (en equipos de mezclado herméticos) se extrae la muestra que será enviada al Laboratorio Químico para su respectivo análisis y cuyos resultados servieran para los controles del proceso (Balances).

Al tratarse de oro se tiene que ser muy estricto en los resultados que se obtenga y toda precaución que se tome tanto para el muestreo como para el análisis mismo de la muestra no es en vano.

Una vez obtenido el precipitado seco, conociendo el peso y los porcentajes de los principales componentes (Au, Ag, Cu, Pb, Zn, SiO₂, Fe), se determina el proceso a seguir de acuerdo al tipo de bullón que se quiera obtener.

2).- CARGA FUNDENTE

Para obtener un bullón en forma directa se mezcla el precipitado con una carga fundente apropiada y se funde en un crisol de grafito.

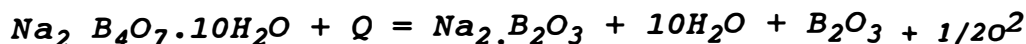
2.1 Objetivo.- La carga fundente tiene la finalidad de coleccionar en la escoria a los metales no ferrosos para evitar en lo posible su presencia en el bullón final.

2.2 Fundamento.- La sustentación básica para lograr la retención de los metales no ferrosos y ferrosos en la escoria está en su oxidación para formar compuestos silicatados o Boratados. Esta suposición es factible termodinámicamente en las condiciones de operación que se suceden en el crisol.

2.3 Reacciones Químicas.-

2.3.1. Descomposición de los fundentes por acción del calor.

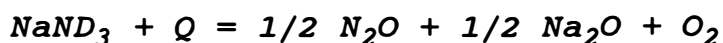
Borax $T = 200^{\circ}\text{C}$



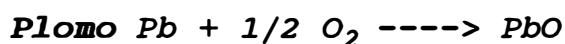
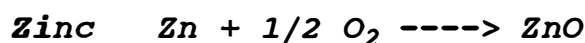
Carbonato de sodio $T = 851^{\circ}\text{C}$



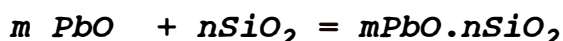
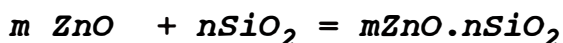
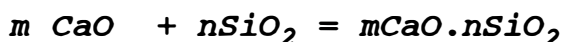
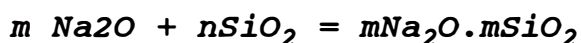
Nitrato de sodio $T = 308^{\circ}\text{C}$



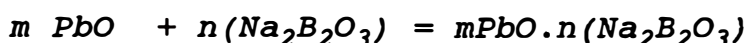
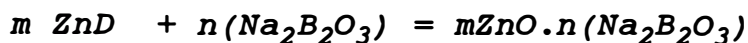
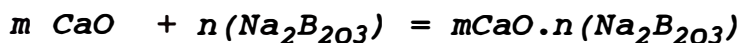
2.3.2. Oxidación de los metales.



2.3.3. Formación de Silicatos.



2.3.4. Formación de boratos sodicos.



Los boratos y silicatos constituyen la escoria de la fusión y las reacciones que se indican se suceden en el crisol durante la fundición. El resultado es la obtención de un baño líquido fluido que permite el escurrimiento del Au, y Ag al fondo del crisol y los otros elementos metálicos quedan en la escoria como silicatados o boratos.

La formación de Silicatos y Boratos sodicos no son propiamente una reacción química si no una asociación de compuestos para formar otro.

El balance hay que hacerlo conociendo los elementos presentes y asumiendo un valor para "m" y para "n" de acuerdo a las características que se quieran dar a la escoria, con valores de 1 para "m" y de 2.5 para "n" se obtienen escorias bastante fluidas y con gran retención

de los óxidos metálicos.

3.- FUNDICION DEL PRECIPITADO

Una vez determinada la carga fundente esta se mezcla con el precipitado, homogenizándola de la mejor forma posible, para luego ser cargada al horno.

3.1 Horno de fundición.- Para la fundición de los precipitados Auríferos se usan generalmente hornos basculantes ya sean de combustión por petróleo, a gas o eléctricos.

El exterior es metálico y la cámara donde se realiza la combustión y va el crisol de grafito es revestida totalmente de refractarios, la temperatura que se alcanza es de aproximadamente 950°C.

3.2.Crisol .- Los generalmente usados son de grafito, su tamaño depende del horno y de las cantidades que se desea fundir.

Existen en el mercado diferentes tipos de crisoles de grafito pero los que mejor responden a este tipo de fundición (altamente oxidante) son los fabricados isostáticamente bajo presión vacía, cuya duración es el 100% más que los fabricados convencionalmente.

Los crisoles deben ser precalentados antes de recibir la carga a fundir. Crisoles ligeramente húmedos se rompen al contacto con el fuego, si estuvieran cargados las pérdidas podrían ser fuertes. Una vez que se llegue a la temperatura de trabajo se adiciona el material a fundir, el tiempo de fundición depende mucho del tipo de carga fundente que se está usando. Una vez que toda la carga a fundir está en estado líquido se procede a la colada en los lingotes respectivos.

3.3 Lingoteras.- Son de fierro fundido y deben tener la capacidad necesaria para recepcionar todo el metal fundido y parte de la escoria.

En el momento de la colada lo primero en salir es la escoria y luego el metal que por su peso específico, mucho más alto, desplaza hacia arriba a la escoria.

Luego de enfriarse se procede a separar el bullón de la

escoria.

4.- INTERFASES

Entre el bullón y la escoria generalmente se presentan hasta dos tipos de interfases que describiremos a continuación.

4.1.- Carburos.- Se presentan inmediatamente encima del bullón y esta conformado mayormente por carburo de silicio (SiC), carburo de boro (B₄C) y carburo de Plomo (PbC), es de color plomo oscuro y se adhiere fuertemente al bullón, siendo necesario extraerlo antes que se solidifique.

Se forman por el desprendimiento de Carbono de los fundentes así como de la descomposición de las paredes del Crisol.

4.2.- Mata.- Esta formada en su mayor parte por oxidos de Cu que retienen una considerable cantidad de Au. El Cu es difícil de oxidar y solamente ocurre cuando su porcentaje es mayor al 3%, en porcentajes menores, se funde como metal con el Au y la Ag.

El oro atrapado se recupera en un ataque químico con Acido Nítrico.

5.- ESCORIAS

La recuperación de los contenidos finos del precipitado no siempre es tan alto como se desea, hay muchos factores que pueden influir en ello pero el mas importante es la no adición de la carga fundente adecuada, que puede generar una viscosidad muy alta y por lo tanto retención de lo valioso en ella.

Para recuperar estos valores se puede proceder a una refundición, buscándole una carga fundente mas apropiada o moler toda las escorias para obtener un producto 100% menos malla 20, luego se tamiza a la malla 48, el grueso es refundido y el fino concentrado gravimétricamente para luego ser fundido conjuntamente con el +malla 48, el relave de la concentración gravimétrica es recirculado a la Planta. Con este procedimiento se

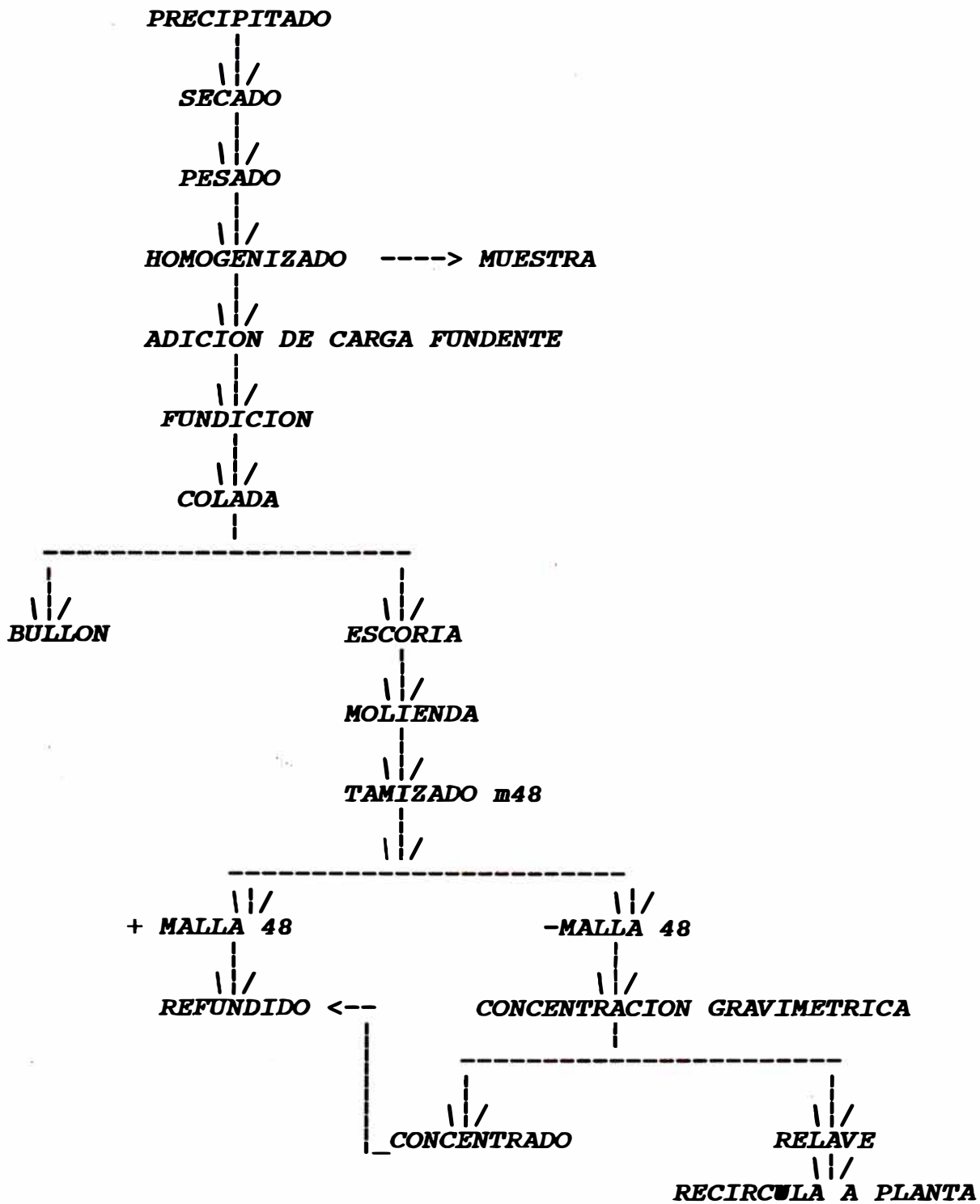
asegura una recuperación total sobre el 99.4% del Au ingresado a fundición y que sale como bullón.

6.- COSTOS

Los costos promedio obtenidos esta en 1.35 \$/onz Au fino y esta distribuido de la siguiente forma.

DESCRIPCION	\$/onza	% DISTRIBUCION
Secado	0.09	6.67
Insumos + Energía	0.84	62.22
Recuperación escorias	0.08	5.93
Mano de obra	0.13	9.63
Supervisión	0.19	14.07
Seguridad	0.02	1.48
Total.....	1.35	100.00

7.- DIAGRAMA DE FLUJO DE FUNDICION



II.- R E F I N A C I O N

- 1.- **Objetivos.-** Obtención del Oro y la Plata con una pureza superior al 99.9% para esto se debe contar con las instalaciones apropiadas, los equipos necesarios y la gente bién capacitada para este fin. Los procesos que se siguen ya sea químicos o electrolíticos, son bastantes difundidos, estando el secreto de obtener los resultados deseados en el cuidado con que se lleva la marcha, evitando además las mermas que pueden ser considerables.
- 2.- **Instalaciones.-** Las principales características que deben tener son:
 - 2.1.- Ambientes amplios de trabajo donde los operadores pueden moverse sin dificultad.
 - 2.2.- Ventilación apropiada con una buena instalación de extractores de gases que eviten que las zonas de ataque se carguen con gases nocivos.
 - 2.3.- Líneas de insumos y agua muy cercanas a las zonas donde van a ser utilizadas y de preferencia con alimentación por gravedad o bombeo evitando el manipuleo de bidones o frascos.
 - 2.4.- Revestimiento de mesas y paredes con material resistente a los ácidos o álcalis y de color claro, donde es notorio cualquier mancha extraña, la limpieza es muy importante.
 - 2.5.- Canaletas y pozos de recuperación para evitar pérdidas irreparables, cualquier accidente que pueda ocurrir no va a ser irremediable si se tiene las precauciones del caso.
 - 2.6.- Sistemas de video y control para la seguridad.
- 3.- **Equipos.-** Estos varían de acuerdo al proceso que se quiere seguir pero los mas importantes son:
 - 3.1.- **Refinación Electrolítica de Plata**
 - 3.1.1.- Rectificadores de voltaje con inversión de polaridad.
 - 3.1.2.- Celdas electrolíticas para la refinación

propiamente dicha.

3.1.3.- Equipo de titulación para medir las concentraciones.

3.1.4.- Horno de fundición para los ánodos y cristales obtenidos.

3.1.5.- Lingoteras

3.1.6.- Calentadores de inmersión.

3.2.- Refinación química de Plata.

3.2.1.- Agitador de baja velocidad de acero inoxidable para realizar la precipitación de la Plata y el Metalizado.

3.2.2.- Filtro que puede ser de vacío o prensa, todo en cerámica, PVC o similar.

3.2.3.- Medidor de P.H. portátil o estacionario

3.2.4.- Horno de fundición.

3.2.5.- Lingoteras

3.3.- Refinación electrolítica de Oro.

Similar a los de refinación Electrolítica de Plata, salvo las diferencias en los Cátodos empleados para el Oro deben ser mucho mas resistentes, y se están usando de Oro de 24 kilates.

3.4.- Refinación Química de Au.

3.4.1.- Equipo de granallado.

3.4.2.- Reactor para ataque de granallas.

3.4.3.- Filtros

3.4.4.- Bombas de trasbase de soluciones.

3.4.5.- Vasos de ataque químico (Bea Kers)

3.4.6.- Hot plates. con Agitación Magnética

3.4.7.- Boiling flask para la precipitación del Oro.

3.4.8.- Medidor de P.H.

3.4.9.- Bandejas para secado

3.4.10.-Horno de fundición.

3.4.11.-Lingoteras.

REFINACION DE PLATA

El proceso consiste en la obtención de la Plata metálica a partir de una solución de nitrato de Plata, la diferencia entre los procesos existentes esta en la precipitación, mejor dicho en la forma como se obtienen esos cristales.

Los procesos mas difundidos son el químico que utiliza el NaCl como precipitante y el electrolítico, hacemos notar que con el proceso químico se obtiene purezas del orden del 99% para llegar a los 99.99% es necesario recurrir al electrolítico.

La refinación directa se realiza a partir de bullónes o doré que contienen como mínimo el 80% de la Plata recuperandose el Au presente como sólido no disuelto o lodo ánodico, según sea el caso.

4.1.- Refinación Química de Plata.

El proceso a partir del bullón o Doré empieza con la fundición y granallado del mismo.

4.1.1.-Granallado.- Proceso por el cual se transforma el bullón o dore en pequeños botones o estrías cuya finalidad es dar mayor área de exposición al ácido y disminuir tiempos de ataque.

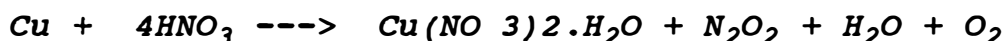
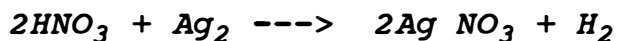
Para realizarlo se necesita un cilindro granallador el mismo que debe tener el ingreso de agua por la parte inferior y la descarga por la parte superior en forma tangencial. Interiormente lleva una malla que atrapará todas las granallas y facilitará además su recuperación. El diámetro y la altura varían de acuerdo a las necesidades pero la mayoría de ellas tienen 50 cm de diámetro y 90 cm a 1 metro de altura.

El proceso consiste en ir adicionando el bullón fundido sobre el agua lo que genera un choque térmico y enfriamiento rápido, formándose las granallas. La adición tiene que ser en forma lenta y con un chorro bastante delgado para evitar explosiones bruscas que podrían generar perdidas y para obtener también granallas de buena calidad.

Concluido el proceso se recuperan las granalladas que ya

están listas para el ataque químico.

4.1.2.- Ataque químico.- Se distribuyen las granalladas en recipientes de acero inoxidable y se le adiciona Acido Nítrico, produciéndose las siguientes reacciones:



Es importante el contar con un buen extractor de gases porque la formación de estos gases nítricos es bastante fuerte, siendo sus características la coloración marrón. La reacción se puede llevar a cabo a temperatura ambiente pero para acelerar la cimetría es bueno trabajar entre 50 y 70°C.

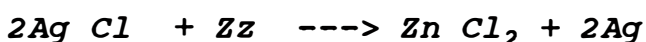
Una vez concluido el ataque se filtra obteniéndose un lodo que va a ser en su mayoría Oro y una solución que debe ser colocada en un tanque de agitación lenta para la recuperación de la Plata.

A la solución de nitrato de Plata se adiciona Cloruro de sodio (NaCl) para producir la precipitación de la Plata como cloruro.



El precipitado obtenido es de color blanco, el mismo que debe ser filtrado y lavado con agua destilada hasta obtener un P.H. neutro.

Alcanzada la neutralización se le adiciona H_2SO_4 al 10% hasta alcanzar un P.H. de 4 aproximadamente en este punto se empieza la adición de Zn en polvo produciendo el metalizado de la Plata.



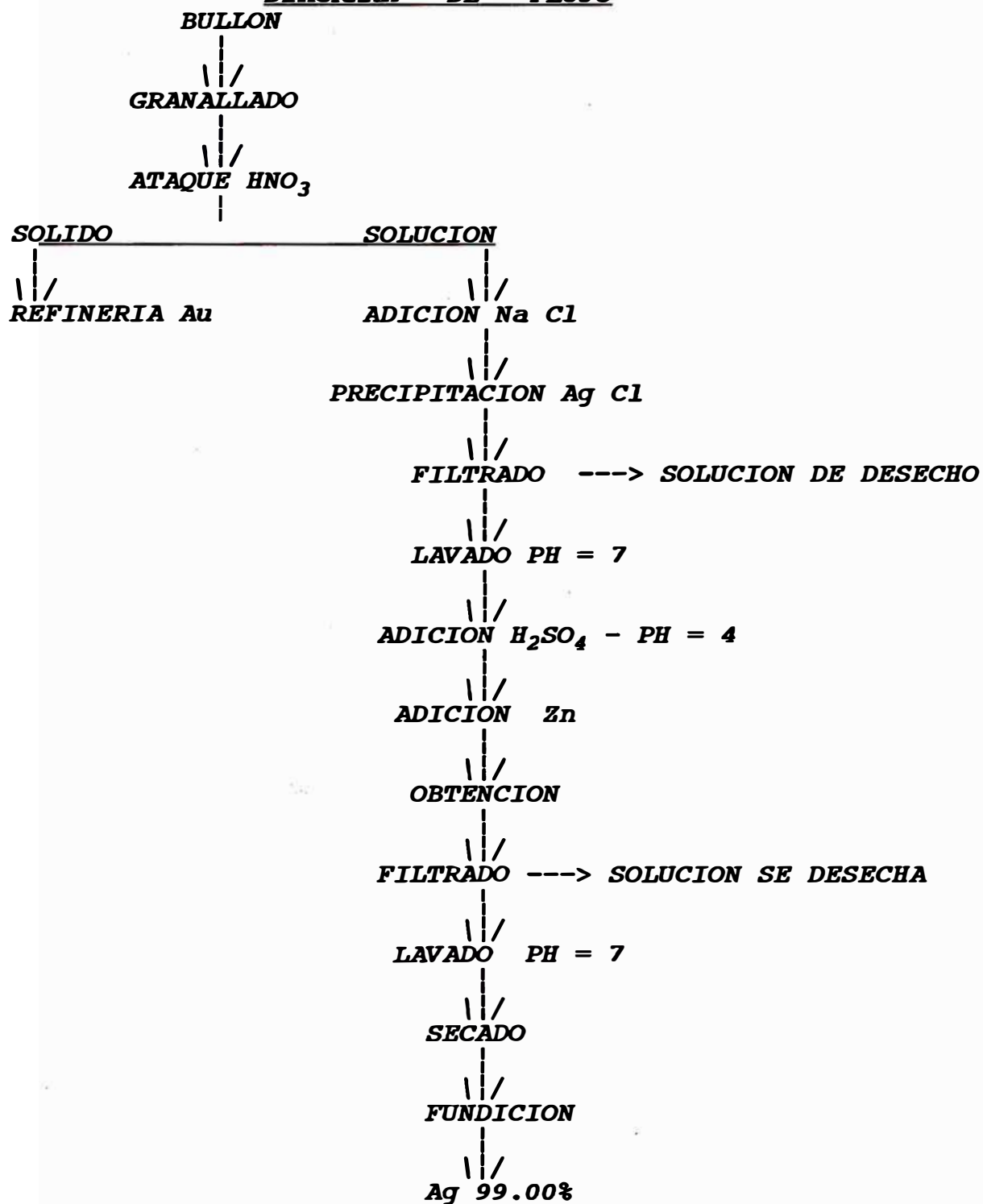
La adición de Zn se realiza con Agitación continua y se detiene cuando ya no quede partículas blancas en el precipitado, el mismo que toma una coloración gris.

El precipitado nuevamente es filtrado y lavado hasta la obtención de un P.H. neutro, luego es colocado en bandejas para su secado.

El precipitado seco es mezclado con sus fundentes respectivos, (Borax, Carbonato de Sodio) y fundido para

la obtención de los lingotes de Plata de aproximadamente 99% de pureza, si se desea obtener mejor ley se funde en ánodos para su posterior refinación electrolítica.

Cuando la metalización de la Plata no se ha realizado en forma debida, los Cloruros de Plata que hayan quedado presentes seran volatizados en el proceso de Fundición, generándose perdidas no deseadas.

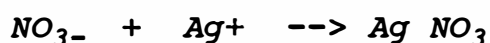
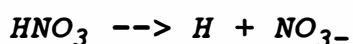
DIAGRAMA DE FLUJO

REFINACION ELECTROLITICA DE PLATA

Generalmente se emplea cuando los Anodos de Ag están con una ley superior al 98% y la finalidad es obtener lingotes de 99.99% de pureza.

4.2.1 Fundición.- Es la parte inicial del proceso y se emplea para la obtención de los ánodos, el tamaño en estos depende del tamaño y tipo de la celda electrolítica.

4.2.2.-Celda Electrolítica.- Consiste de un ánodo y un cátodo entre los cuales se produce todo el proceso, en el Ánodo la Plata se disuelve por acción del ácido Nítrico pasando del estado Metálico al de solución.



En el cátodo ocurre lo contrario, es decir el Nitrato de Plata por acción del potencial existente en la celda suelta a la Plata generando el NO_3^- .



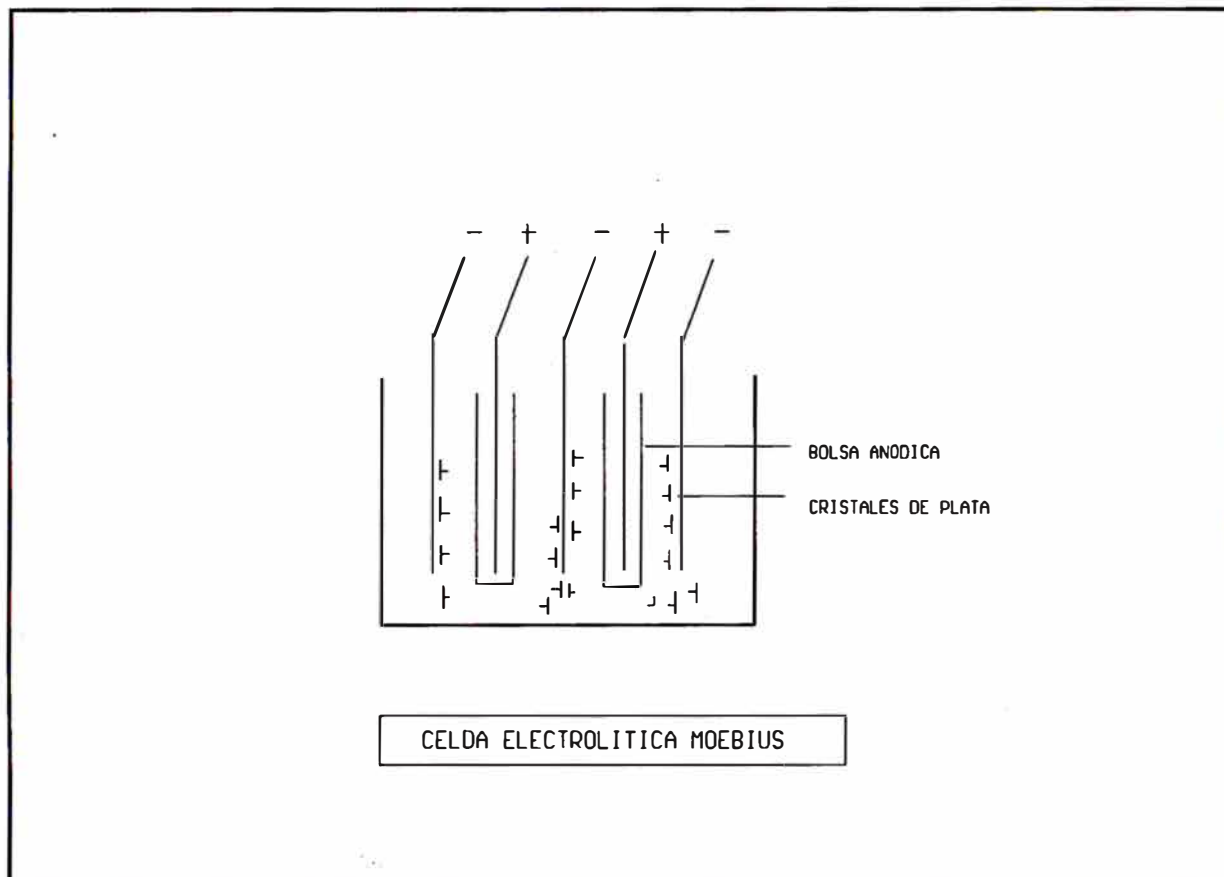
El potencial empleado debe ser lo suficiente para mantener el equilibrio existente entre el H, NO_3^- , Ag, un sobre voltaje puede generar evacuación de H_2 que desestabilizara el sistema.

Concluido el proceso quedan como residuo un lado anodico, que va a refinación por Au, las cabezas o residuos de Ánodos son recirculados.

Existen dos tipos de celdas que pasaremos a describir a continuación.

4.2.2.1 .- Celda Moebius

Estas celdas se caracterizan por tener en forma paralela los ánodos con los cátodos en forma intercalada.



Los ^{ánodos} ~~cátodos~~ van dentro de unas bolsas que retienen el lodo ánódico o lo insoluble. trabajan con un electrólito que contiene aproximadamente 60 gr/lt de Ag y 30 gr/lt de Cu; la densidad de corriente debe ser aproximadamente 50 Amp/ft² y el voltaje de 2.7 voltios.

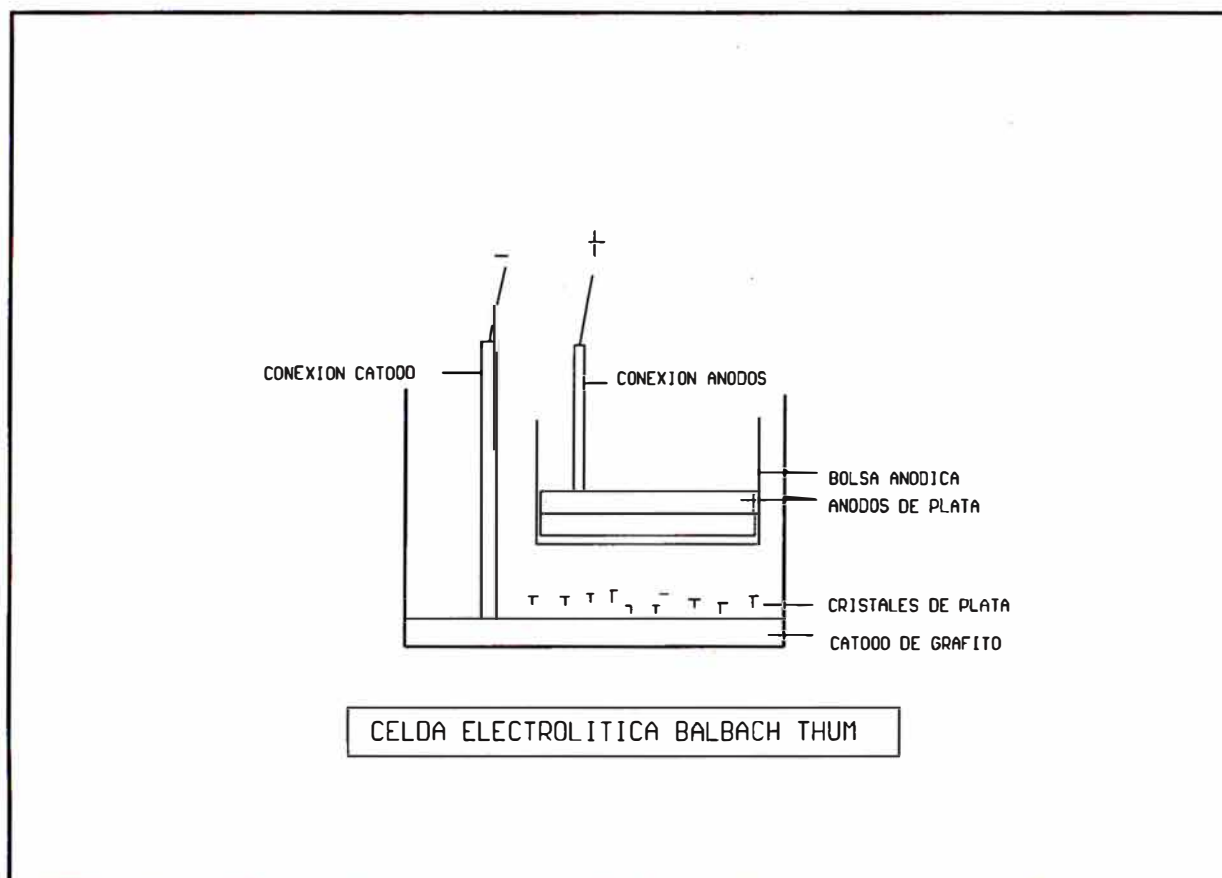
Los cátodos empleados son de Acero inoxidable y la celda puede estar construida en cerámica ó PVC.

El PH de trabajo es de 1.0 ó 1.5 y la temperatura entre 30 y 35°C.

4.2.2.2. Celda Balbach- Thum

La diferencia con la anterior es que lleva el cátodo de grafito en la parte inferior de la celda y los ánodos en la parte superior, las demás características son

similares al igual que los parámetros de operación.



4.2.2.3.- Determinación volumétrica de la Plata

Es importante conocer la concentración de la Plata para la buena marcha del proceso, este se determina con la titulación de la solución con tiocinato de Potasio.

$$\text{Grs/lt Ag} = \frac{\text{mlt (KSCN) titulante} \times \text{factor} \times 1000}{\text{mlt de muestra}}$$

El indicador es el sulfato ferroso saturado y la adición concluye cuando toma la solución una coloración marrón./ El tiocianato se obtiene disolviendo 9.2 gr de KCNS en 1000 cc. de agua destilada.

Para la obtención del factor se disuelve 500 mlgr de Ag en 5 cc HND₃ y se diluye a 1000 cc con agua destilada.

$$\text{Factor} = \frac{\text{WC Ag pura}}{\text{cc titulante}}$$

4.2.2.4. Consideraciones

Es muy importante tener en cuenta lo siguiente:

- Mantener el voltaje apropiado de operación para evitar el desbalanceo del sistema acuoso que podrían permitir la electrodeposición del Cu.*
- Mantener los contactos en muy buenas condiciones para evitar el consumo excesivo de energía a la pasivación completa del sistema.*
- Hacer la limpieza ya sea normal o mecánicamente de los cristales de Ag depositados en el Cátodo, un crecimiento excesivo de los cristales pueden crear un puente entre el Anodo y el cátodo generando un corto circuito. Por eso es necesario contar con el rectificador de voltaje de polaridad cambiabile automáticamente.*

4.2.3.- Lavado - Fundición

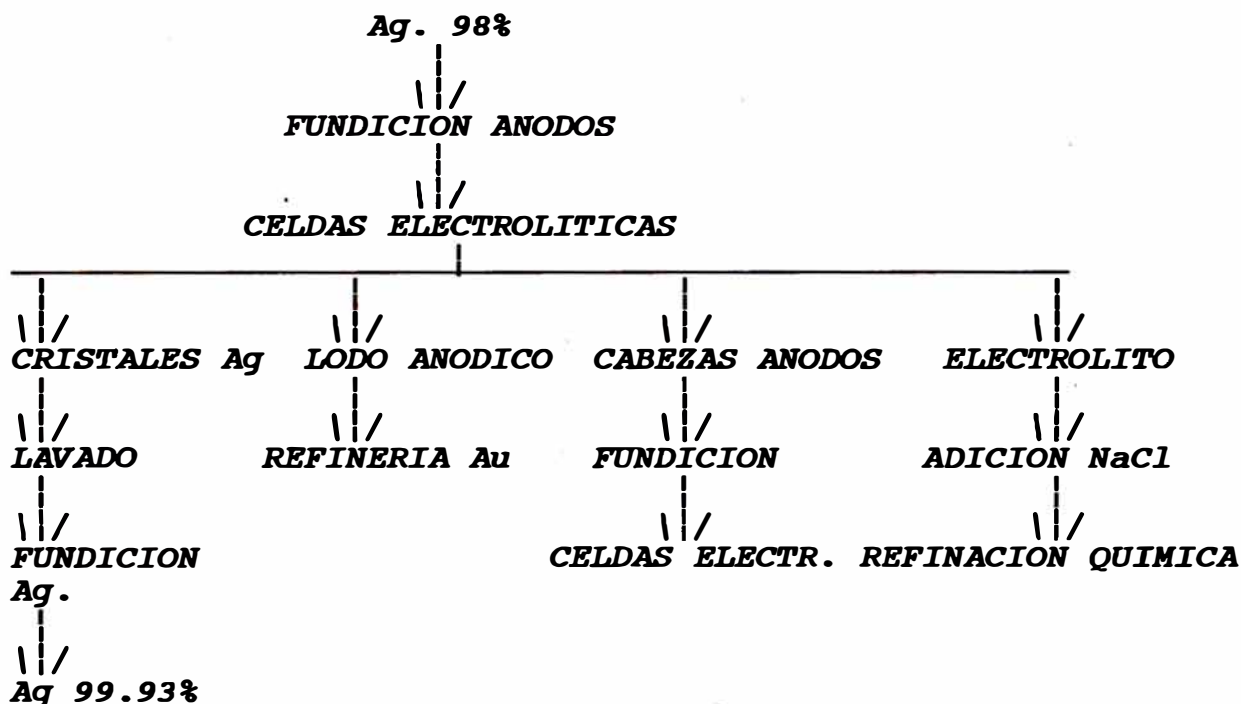
Terminada la disolución de los Anodos se procede a la extracción de los lodos anódicos que pasan a la refinería por Au y de los cristales de Ag que deben ser bién lavados con agua caliente, los cristales son secados y fundidos con algo de fundentes obteniéndose de esta manera los lingotes de plata con una pureza de 99.99%.

El electrólito gastado así como el agua de lavado se pueden recircular (siempre y cuando la concentración de Cu este dentro de lo permisible, hasta 50 gr/lt) en caso contrario se recupera la Plata con Na Cl siguiendo el proceso de refinación Química. Los ánodos o cabezas de ellos sobrantes vuelven a fundición para recirculación.

4.2.4.- Costos

Los costos de operación para la refinación química de Plata esta en el orden de 0.2 Dolares por onza y la de refinación electrolitica en 0.08 dolares por onza, siendo el de mayor incidencia el gasto por HNO₃ que es el insumo principal.

4.2.5.- DIAGRAMA DE FLUJO



5.- REFINACION DE ORO

La refinación del Oro se hace a partir del bullón o del precipitado mismo, consiste en llevar el Oro presente a estado de solución formando el Cloruro Aurico ($AuCl_3$) y de ahí obtenerlo en forma selectiva como cristales. El método más usado es el conocido como refinación química llegando a una pureza de 99.8% aproximadamente. Para obtener mayores leyes se recurre a la refinación electrolítica.

5.1.- Refinación química del Oro.

Este proceso se puede hacer a partir del bullón o del precipitado, dependiendo mucho de las características de este último para ver su factibilidad.

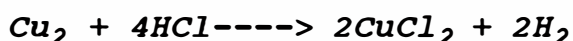
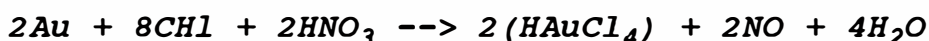
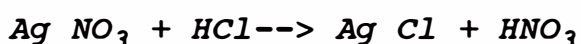
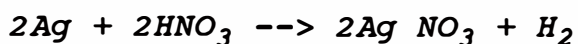
5.1.1.-Refinación química del oro desde un bullón

Para que el agua regia disuelva el Oro este debe estar con leyes superiores al 80%, si el bullón origen no lo tuviera es necesario hacer un incuarte (adivinarle Cu ó Ag) para bajar la ley a menos del 20%, este incuarte se hace dentro del crisol de fundición, una vez obtenida la mezcla fundida se procede al granallado.

Las granallas obtenidas son colocadas en un recipiente de acero inoxidable y se le adiciona Acido Nítrico para disolver todo el Cobre y la Plata presente. Una vez concluido el ataque se procede a la filtración quedando retenido en el papel filtro u barro marrón que es la coloración que tiene el Au, se procede a lavarlo hasta que el agua de lavado resultante tenga un PH neutro. Si se llegara a fundir este lodo resultante se obtendrían barras de aproximadamente 98.5% Au, hasta este punto el proceso es ampliamente difundido entre los joyeros que obtienen de esta manera un Oro semirefinado de buena calidad, si resultara frágil por la presencia de Plomo se recurre a una compelación que es muy sencilla realizarla.

El lodo obtenido luego del lavado es distribuido en los vasos de ataque donde se le adiciona el agua Regia en forma paulatina para disolver todo el Au presente. Primero se agrega el HNO_3 (53%) generandose un ataque de los remanentes de Ag, Cu, Pb que pudieran haber quedado presentes, luego se le adiciona el HCl en cuatro partes cada una de ellas equivalente al HNO_3 usado, produciendose de esta forma una paulatina disolución del Oro y la precipitación de los nitratos como cloruros. Se procede de igual forma hasta completar la adición total del Acido Clorhídrico (al 32%).

$$\text{cc HCL} = \text{c.c. HNO}_3 \times \frac{37}{32} \times 4$$



Las reacciones antes descritas son algunas que ocurren en el proceso de disolución del Au. El ataque se realiza a una temperatura aproximada de 70°C.

Concluida la disolución total del Au se procede a la filtración y lavado separando el sólido de color blanco (generalmente AgCl), de la solución amarillo naranja

que contiene el Cloruro Aurico. El sólido pasa a refinación por Ag y la solución es trasbasada a los Boiling Flask para la recuperación del Oro presente.

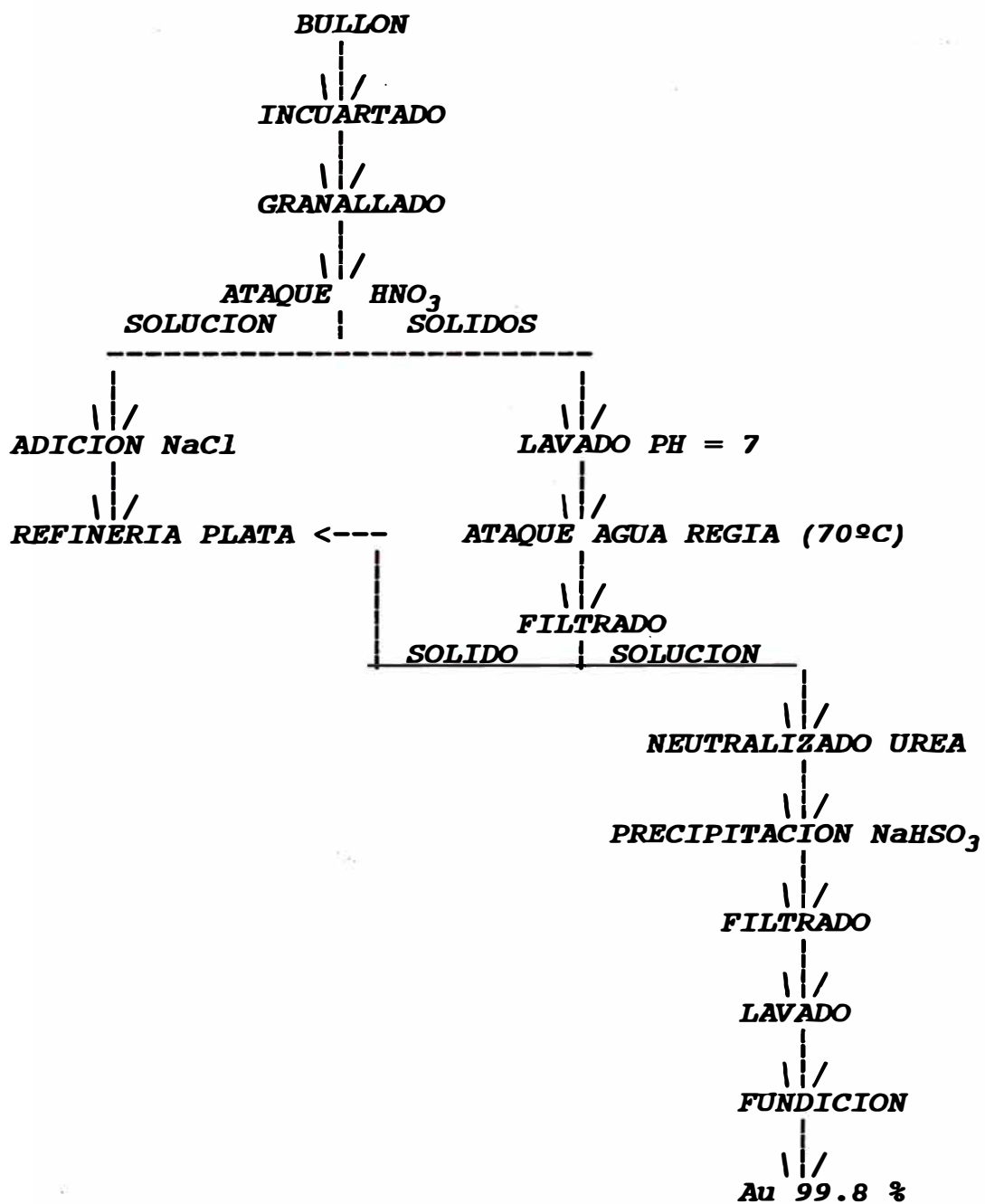
A la solución se le agrega Urea, esta al entrar en contacto con la superficie del liquido efervese, se debe tener cuidado con este efecto una adición brusca puede generar el rebose del recipiente además del rompimiento (la reacción es exotérmica). La adición concluye cuando desaparece la efervescencia en el momento de adicionar mas Urea.

Para la precipitación del Oro hay varios métodos, los mas usados son el de bisulfito de Sodio (NaHSO_3) al 25% y el del SO_2 en gas, también se puede precipitar el Au con nitrito de sodio (NaNO_2) o con ácido oxálico.

En el caso del bisulfito de sodio este se disuelve en agua a una concentración aproximada del 25% y se adiciona en forma paulatina a la solución formándose una nube de solido y perdiendo su tonalidad amarillo naranja, aproximadamente si se utiliza con un exceso del 10%.

Para probar la existencia de Oro en la solución se emplea cloruro estañoso (SnCl_2) en solución saturada, el mismo que se adiciona en gotas, si forma una nube gris oscura indica la existencia de Oro la adición del bisulfito concluye cuando no se produce ninguna reacción ante la adición del SnCl_2

Concluido la precipitación se filtra lavándose el solido con agua caliente inicialmente, luego con HNO_3 al 10%, nuevamente agua, Hidróxido de Amonio y finalmente agua caliente, el precipitado es secado y fundido con NH_4Cl (Cloruro de Amonio), como fundente en muy pequeña cantidad (1%) además del Borax y Nitrato de Sodio.

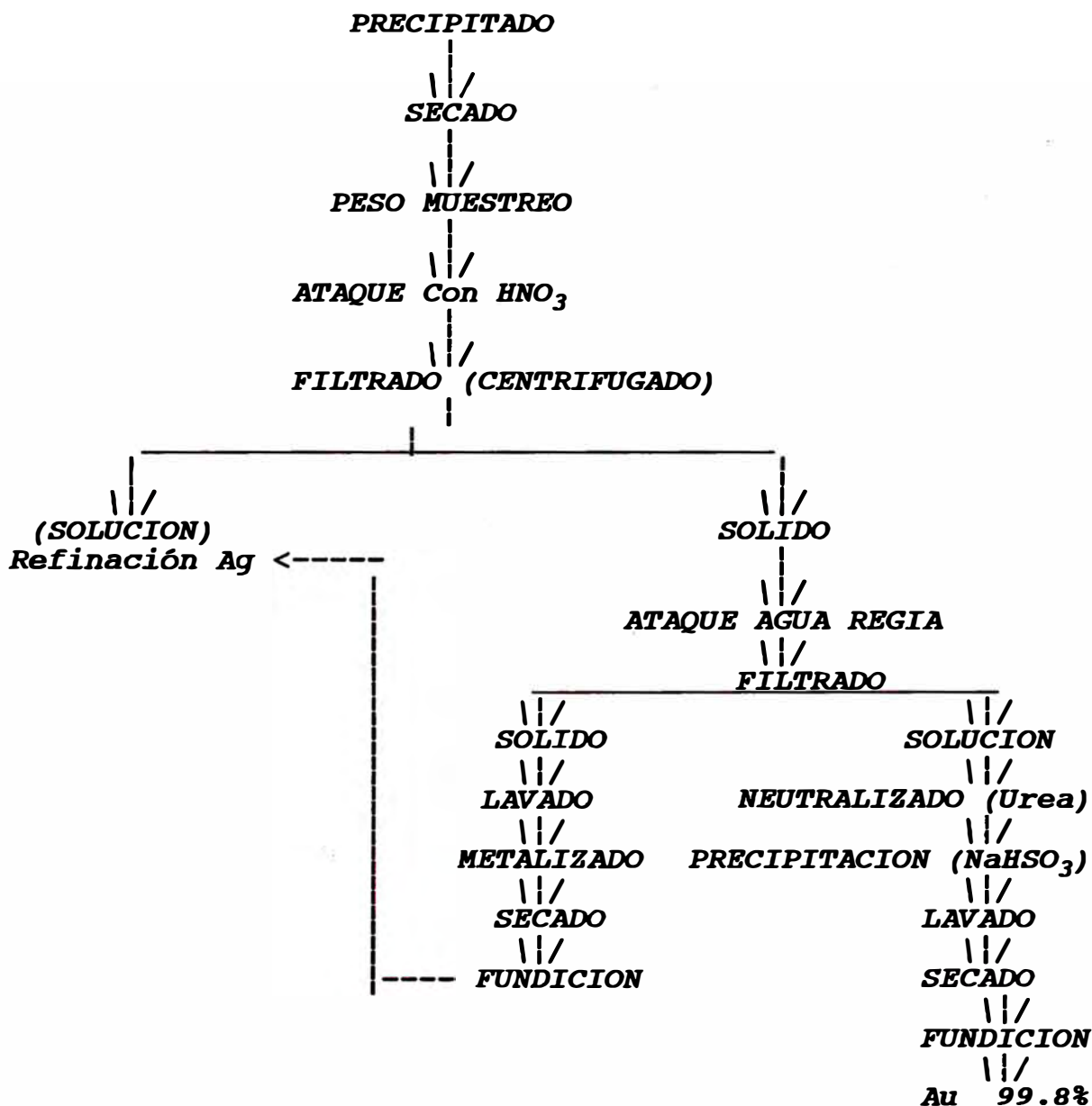
DIAGRAMA DE FLUJO

5.1.2. Refinación química desde el precipitado

Considerando que el mejor ataque químico se realiza cuanto mayor es el área expuesta, se realizó esta modificación que dió buenos resultados.

El precipitado luego de secado, pesado y muestreado es colocado en un reactor donde se adiciona el ácido nítrico para la eliminación del Zn, Cu, Pb, Ag siendo casi total en el caso del Zn mas no así de los otros elementos que llegan al orden del 70 a 80% de eliminación y el precipitado es filtrado, lavado y colocado en vasos de ataque donde se adiciona Agua Regia en forma similar al caso de los granallados, obteniéndose de esta forma el Cloruro Aurico que sigue el proceso anteriormente descrito. El sólido resultante luego de lavado es metalizado para la recuperación de Ag y una vez secado es fundido para obtener los Ánodos y pasar a una refinación electrolitica por Plata.

La ventaja de esta variación es que se reduce el tiempo total en la obtención del Oro refinado al no entrar ya en el proceso de fundición, además que disminuye las perdidas por manipuleo, siempre y cuando este se haga con sumo cuidado. La dificultad radica en la filtración para lo cual se ha implementado centrífugas en lugar de filtros por lo menos en la primera parte, (luego del ataque con HNO_3), para la filtración del AuCl_3 , si se emplea filtro Buchiner de 24" por ser de mucho mas fácil control y facilita el cuidado que se debe tener.

DIAGRAMA DE FLUJO5.2.- Refinación electrolítico de Au

Se emplea para alcanzar el 99.99% de pureza, se hace a partir de lingotes de Oro con una pureza mayor de 98%, es una opción paralela a la refinación química luego de haber atacado las granallas con Acido Nítrico.

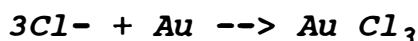
El proceso empieza con la fundición de los Ánodos los mismos que son colocados en las celdas Wohlwill que tienen características similares a las de refinación electrolítica de Plata, con la peculiaridad que son

tapadas para evitar la fuga indiscriminada de gases que son bastante corrosivos.

El Anodo a emplearse son de Au con un 98% de pureza, el Cátodo que se emplea generalmente es también de Au pero de 24 kilates (99.99%).

El electrólito esta conformado mayormente por Cloruro Aurico hasta (150 gr/lt aproximadamente) que es el que transporta el Oro del Anodo hacia el Cátodo donde precipita como cristal.

Anodo: $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$



Cátodo: $AuCl_3 \rightarrow Au + 3Cl^-$

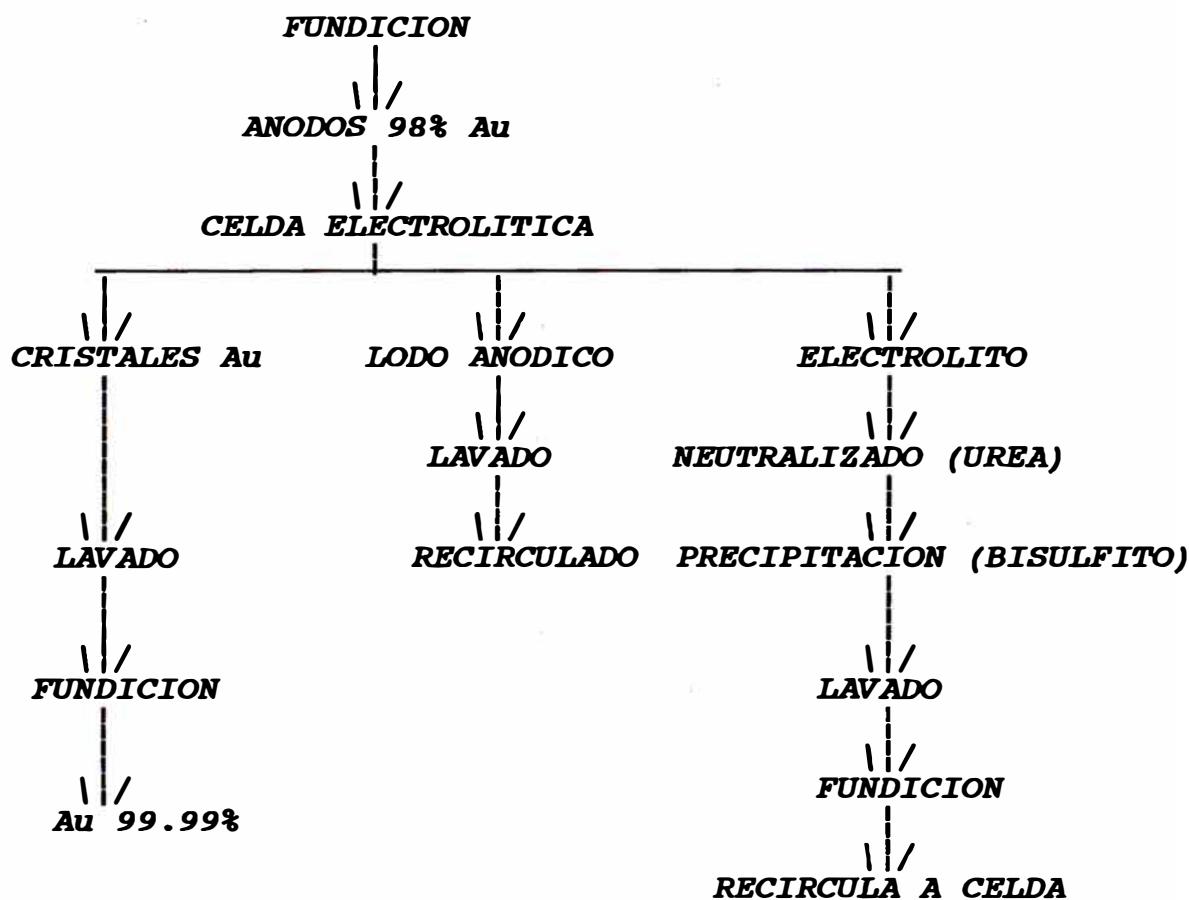
La temperatura en que debe trabajar la celda debe estar entre los 60 y 70°C, el voltaje a emplearse es de 1.3 a 1.5 voltios, la densidad de corriente requerida es de 115 Amp/ft² siendo las concentraciones óptimas de trabajo del electrólito 7 a 8% como AuCl₃ y 10 a 16% como HCl libre.

La solución electrolitica contiene Au, Cu, Pt, siendo muy importante el control de los paramentros para que sea selectiva la precipitación.

El residuo que queda en las bolsas ánodicas está compuesto por Cloruro, sólidos de Plata, Cobre y algo de Oro que puede haberse desprendido antes de disolverse.

Concluido el proceso de electro refinación los cristales de Oro son lavados con agua caliente e Hidróxido de Amonio para ser luego secado y fundido, es importante tomar en cuenta que antes de hacer la colada para cualquier producto refinado se debe extraer antes la escoria y en el momento de la colada se debe tener el apoyo de un soplete para lograr un enfriamiento parejo y evitar los isotermicos que deforman el acabado.

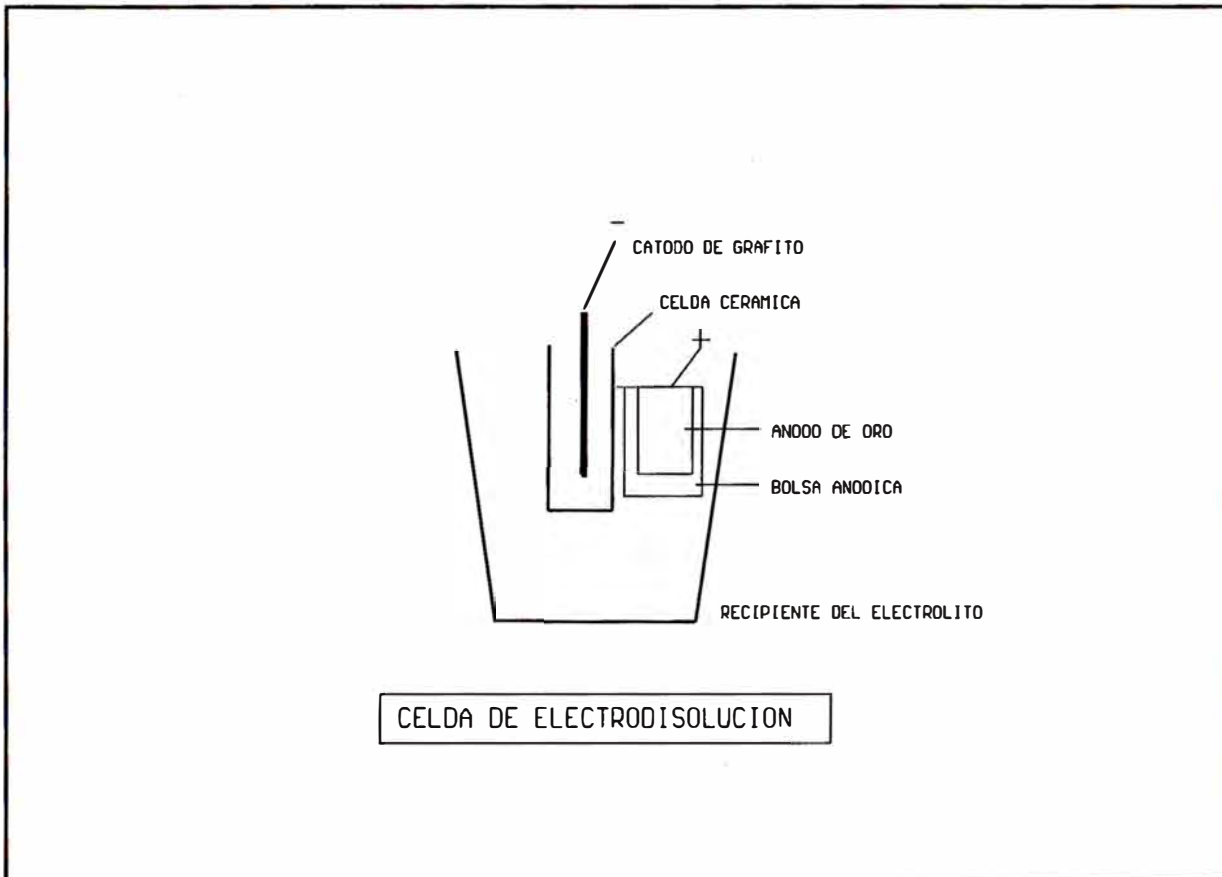
Los lodos Anodicos son recirculados para la recuperación de los valores que pueden estar presentes.

DIAGRAMA DE FLUJO5.3.- Celdas de Electrodisolución

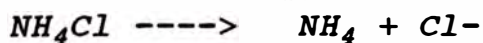
En los últimos años se está popularizando el uso de las celdas de electrodisolución de Oro, estos consisten en una celda cerámica en cuyo interior va un Cátodo de grafito y en el exterior va el ánodo que viene a ser de Au con una pureza mayor al 80%, obteniéndose un producto final de 99.99% Au.

La celda cerámica tiene una porosidad determinada que solamente permite el paso de los cationes Au, evitando el paso de otros posibles contaminantes de esta manera permite obtener cristales de Oro de alta pureza.

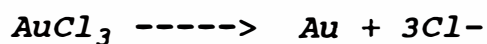
Una vez obtenido el Anodo de Oro (98% de pureza), se coloca dentro de la bolsa anodica y se sumerge en el recipiente que contiene a la celda cerámica mas agua destilada, agregandose luego Cloruro de Amonio que al



disociarse dejará libre el Cloro, formándose de esa manera el Cloruro Aurico.



En el Cátodo de grafito ocurre la disociación del Cloruro Aurico formándose nuevamente el Au metálico.



Para realizar esta electrodisolución y precipitación se necesita a parte de la celda un rectificador de voltaje o un cargador de batería de 25 amp y 12 Voltaje.

El amperaje de trabajo debe estar entre os 10 y 20 amperios.

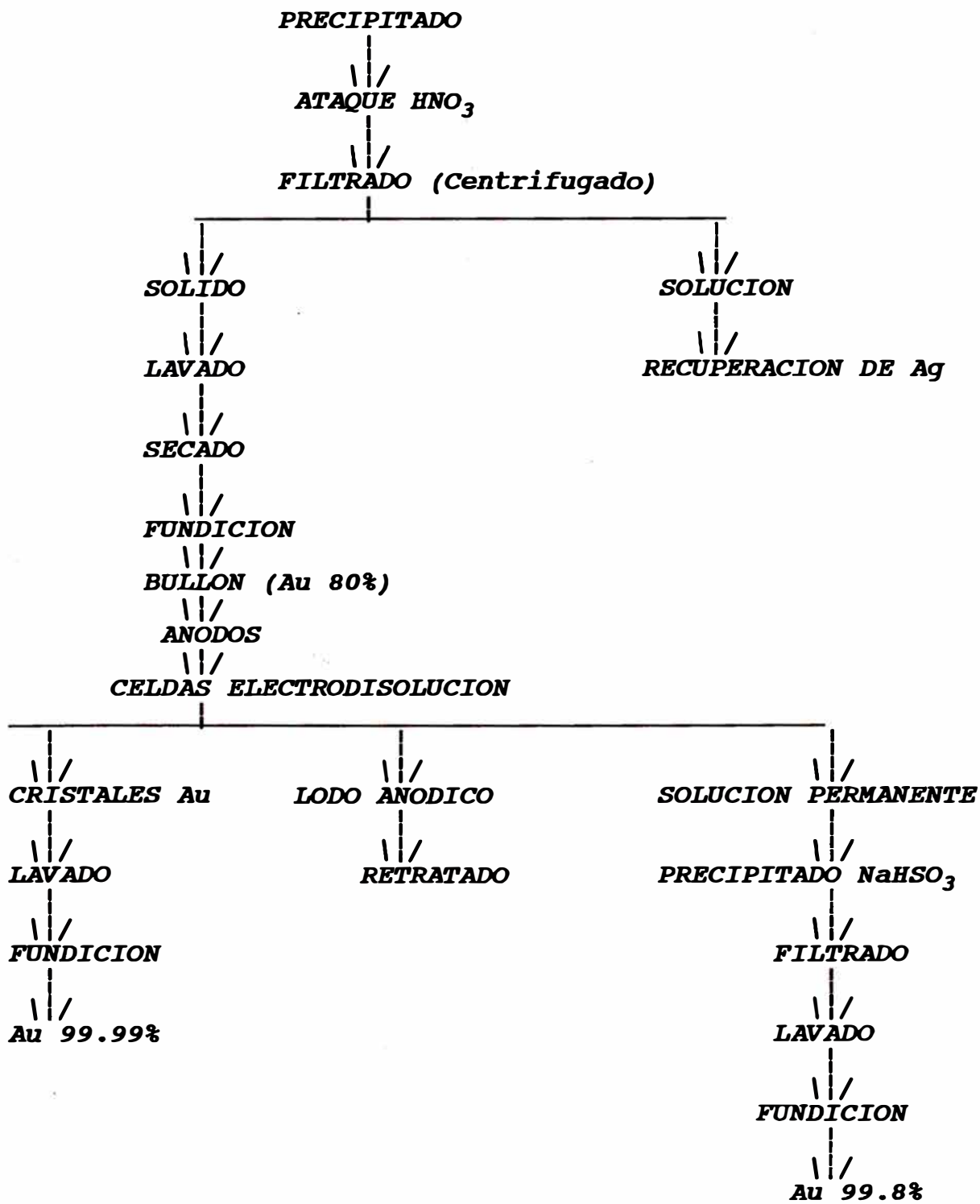
Cuando el bullón tiene leyes superiores al 95% la velocidad de disolución esta en una onza/hora trabajandose a 12.6 amperios, a ley menor se hace mas lento, como catalizador para acelerar la disolución se emplea Peróxido de Sodio.

Estas celdas son una buena opción para tratar los

bullónes obtenidos luego de la fundición del precipitado atacado con HNO_3 .

Los cristales obtenidos dentro de la celda son lavados como ya se explico en los procesos anteriores y luego fundidos.

La solución remanente es recuperada con Bisulfito de sodio.

DIAGRAMA DE FLUJO

BIBLIOGRAFIA

- *Informes Mensuales Fundición - Refinería.*
Cía. Minera Poderosa
- *Recovery and Refining of Precious Metals*
C. W. Ammen
Gold Refining
George Gajda
- *Metalurgia del Oro y la Plata*
Juan Vargas Gallardo .
- *Tecnología de Refinación del Oro y Plata*
Taller de Metalurgia Extractiva de Minerales
Auríferos T.E.C.S.U.P.
- *Metalurgia del Oro y la Plata*
Ernesto Diez Canseco
- *Technical Methods of Ore Analysis*
Arthur J. Weinig