

UDA - FI
DE MET
C 228

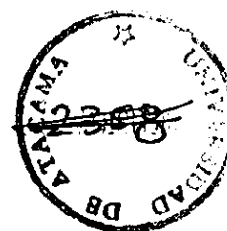
**UNIVERSIDAD DE ATACAMA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA**



**ELIMINACION DEL CONTENIDO DE SELENIO EN
EL METAL DORE**



Trabajo de Titulación, presentado en conformidad
a los requisitos para optar al Título de:
INGENIERO EJECUCION EN METALURGIA EXTRACTIVA



Profesor guía : Dr. Ing. José Palacios
Tutor M.D.O : Ing. Civil Iván Cáceres

**SUSANA DEL PILAR CORTES VALLEJO
1995**

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Compañía Minera Mantos de Oro que permitió la realización de esta tesis.

De la misma forma mi profundo agradecimiento a Ing. Ivan Cáceres y a Ing. Rafael Ocáriz por las facilidades otorgadas para realizar este trabajo.

Finalmente debo agradecer a mi profesor guía Dr. José Palacios por las orientaciones dadas.

RESUMEN

El presente trabajo fué realizado en la Compañía Minera Mantos de Oro, en el área de refinería. Consistió en la eliminación del contenido de Selenio en el metal doré, para lo cuál fue necesario realizar un estudio de su comportamiento.

Durante la etapa de cianuración del mineral de oro y plata del yacimiento La Coipa, el Selenio que está contenido como impureza con una ley promedio de 6 ppm, se lixivia y pasa a formar parte de la solución, luego precipita junto a los metales nobles, obteniéndose una calcina final de 1200 ppm en Selenio. Un porcentaje de este Selenio se elimina en el proceso de fusión de calcinas vía volatilización por oxidación de Selenio como dióxido de Selenio (SeO_2), quedando un remanente del orden de 800 ppm de Selenio como contaminante en la barra final de metal doré. Esta condición provoca castigos económicos en la comercialización de las barras de metal doré debido a que el límite permisible de Selenio es de 10 ppm. Considerando el potencial económico que presenta el castigo por el contenido de Selenio en el metal doré, es que el Area de Refinería consideró necesario estudiar el comportamiento del Selenio en la fusión de calcinas, y determinar los factores que influyen en la disminución del Selenio en el metal doré para su posterior eliminación.

El Selenio es eliminado vía volatilización cómo óxido de Selenio, para ello se controló el potencial de oxígeno mediante el control de la atmósfera de combustión, sin embargo, fué necesario inyectar oxígeno al baño metálico a traves de lanza para oxidar el Selenio, logrando con esta prueba eliminar el Selenio en un 98%.

INDICE

AGRADECIMIENTO
RESUMEN
INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	8

CAPITULO II

ANTECEDENTES TEORICOS

2.1 DESCRIPCION DEL ELEMENTO SELENIO.....	9
2.1.1 FUNDICION CON CARBONATO SODICO.....	10
2.1.2 TOSTACION CON CARBONATO SODICO.....	11
2.1.3 TOSTACION CON ACIDO SULFURICO.....	12
2.2 USO DEL SELENIO.....	12
2.3 TOXICIDAD DEL SELENIO.....	12
2.4 FACTORES DE SEGURIDAD.....	13
2.5 DIAGRAMA DE HELLINHAM PARA LA REFINACION A FUEGO.....	13
2.6 ANTECEDENTES PRACTICOS.....	16
2.7 DESCRIPCION Y ANTECEDENTES OPERACIONALES DE LA FUSION.....	17
2.7.1 DESCRIPCION DEL AREA DE REFINERIA	17
2.7.2 DESCRIPCION DE LA FUSION EN HORNO REVERBERO	
BASCULANTE.....	20
2.7.3 OPERACION HORNO REVERBERO BASCULANTE.....	22

CAPITULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 SEGUIMIENTO DEL SELENIO.....	24
3.2 PRUEBA PRELIMINAR.....	25
3.3 PRUEBA FINAL.....	29
3.3.1 DESCRIPCION DE LA INSTALACION DE INYECCION DE OXIGENO...29	
3.3.2 PROCEDIMIENTO DE OPERACION DE INYECCION DE OXIGENO.....	30

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 SEGUIMIENTO DEL SELENIO.....	32
4.2 PRUEBA PRELIMINAR DE FUSION DE CALCINA.....	36
4.3 PRUEBA FINAL DE FUSION DE CALCINA.....	40

CAPITULO V

CONCLUSIONES.....	47
--------------------------	-----------

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	48
--	-----------

APENDICE

A. RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO.....	49
B. CALCULO BALANCE PARA SELENIO.....	55
C. CALCULO DE LA INYECCION DE OXIGENO AL BAÑO DE DORE.....	61
D. CALCULO DE LA CARGA DE FUNDENTE.....	65



CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

El yacimiento de oro y plata La Coipa está ubicado en la Cordillera de Domeyko, III Región, sobre los 4000 m.s.n.m, a 140 Km. al noreste de la ciudad de Copiapó. Tal como se muestra en las figuras 1.1, 1.2 y 1.3.

Este yacimiento tiene una ley promedio de oro de 1.30 g/t y una ley de plata de 78.2 g/t. La Coipa comprende dos zonas principales de mineralización: Ladera -Farellón, en la parte sur y Coipa Norte. Una tercera zona de mineralización corresponde a la Cía. minera Can Can, y está localizado entre Ladera - Farellón y Coipa Norte. Todas estas áreas forman parte de una franja de metales preciosos de 3 a 4 Km de largo, con dirección norte-sur a noreste-sureste. La mineralización más común de plata se encuentra como cerargirita (AgCl), plata nativa, embolita (Ag[Cl,Br]), iodargirita (AgI), electrum (Au,Ag), argentita (AgS), y argentojarosita ($\text{Ag}_3\text{Fe}_3[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_6$). El oro se encuentra principalmente en forma nativa, y también como electrum. Además minerales como Bornita, calcopirita, calcosina, enargita, tetrahedrita, tenantita, galena, esfalerita, pirita, arsenopirita y melnikovita también han sido encontradas.

El mineral proveniente de la mina es transportado por camiones de alto tonelaje hasta el chancador giratorio, luego es almacenado en un stockpile techado con capacidad de 40.000 TM, el que entrega el mineral al circuito de molienda, este cuenta con un molino semi autógeno S.A.G. que trabaja en circuito cerrado con un chancador de cono y dos circuitos inversos de molienda de bolas - clasificación. El rebalse de los ciclones es enviado a un espesador de alta capacidad y su descarga es lixiviada en 8 estanques agitadores con solución de cianuro y en

presencia de aire. La pulpa lixiviada ingresa a un espesador de alta capacidad y el rebalse es enviado a la etapa de clarificación. La descarga del espesador pasa a la planta de filtrado de relaves y el queque filtrado es finalmente depositado en el tranque de relaves.

La solución rica es tratada con Zinc en un precipitador Merrill Crowe, el precipitado es separado desde la solución mediante filtrado y posteriormente es secado en retortas a 650°C aproximadamente donde se elimina el exceso Zinc. Los gases producidos son enfriados en condensador, obteniéndose mercurio metálico. La calcina obtenida en el horno de retorta es mezclada con fundentes adecuados para obtener un metal doré de 98.5 % Ag y 1.5 % Au. En la Fig. 1.4 se muestra el flow-sket de la planta.

En este yacimiento el selenio se encuentra asociado al oro, plata y mercurio con una ley promedio de 6 ppm de selenio.

Durante el tratamiento de estos minerales, el Selenio se encuentra como impureza en la barra final de metal doré, provocando fuertes castigos económicos en la comercialización de esta, ya que el límite permisible de Selenio en el doré es de 10 ppm como máximo.

La Tabla 1.1 muestra las variaciones que ha tenido la composición del Selenio en el metal doré en el año 93 y principio del 94 y se puede observar que el contenido de Selenio ha aumentado en los últimos años.

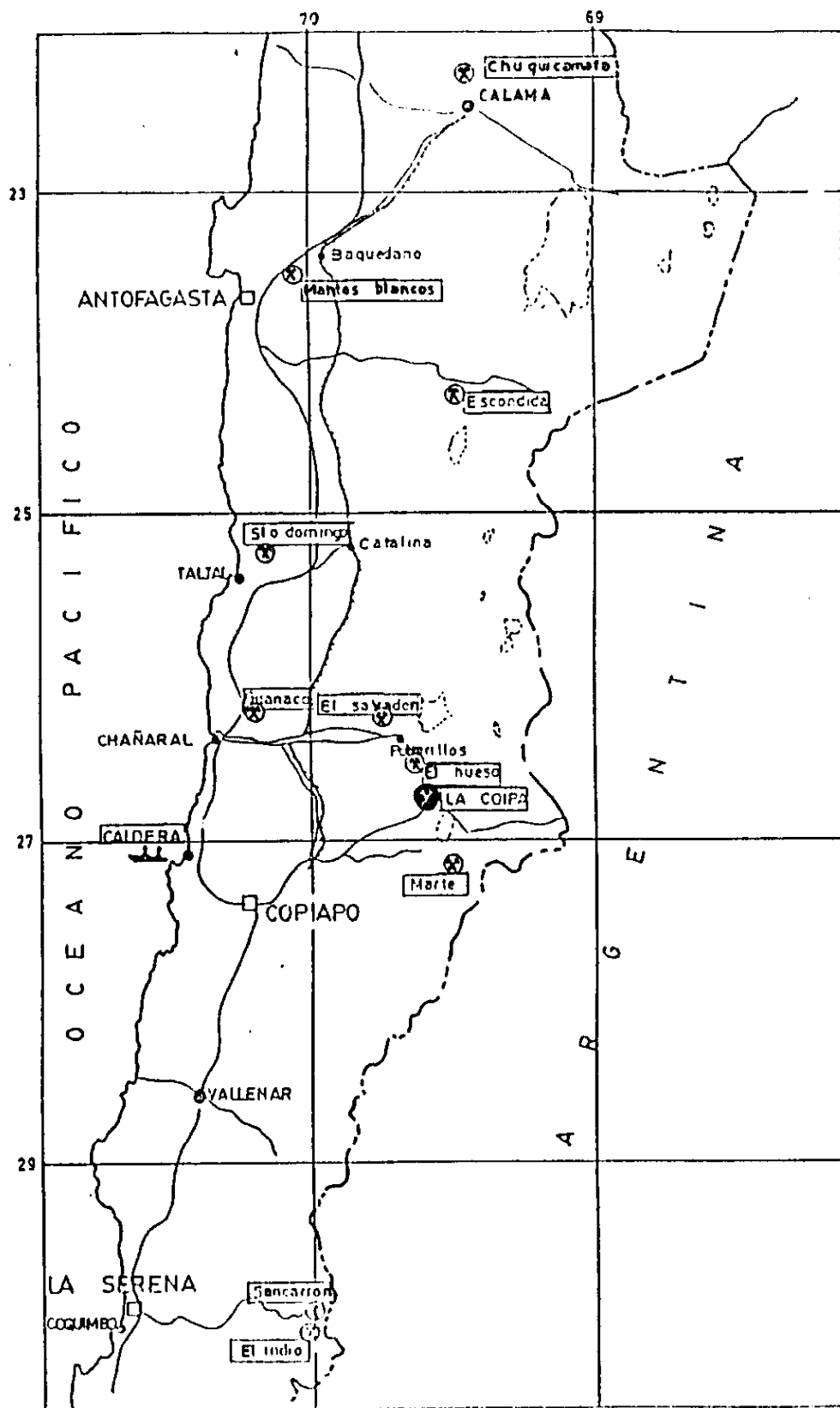


Fig 1.1. UBICACION GENERAL DEL YACIMIENTO

LA COIPA

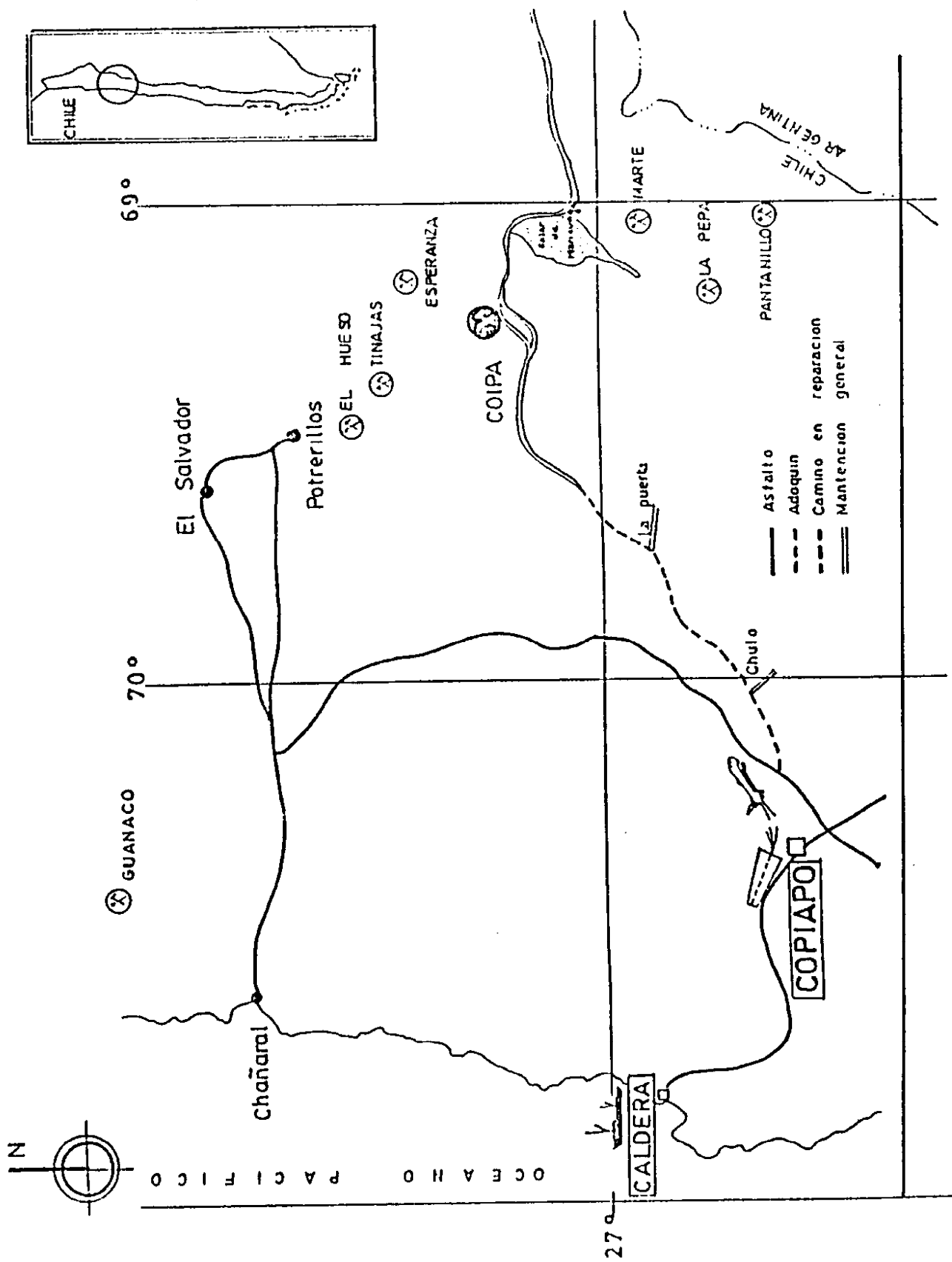
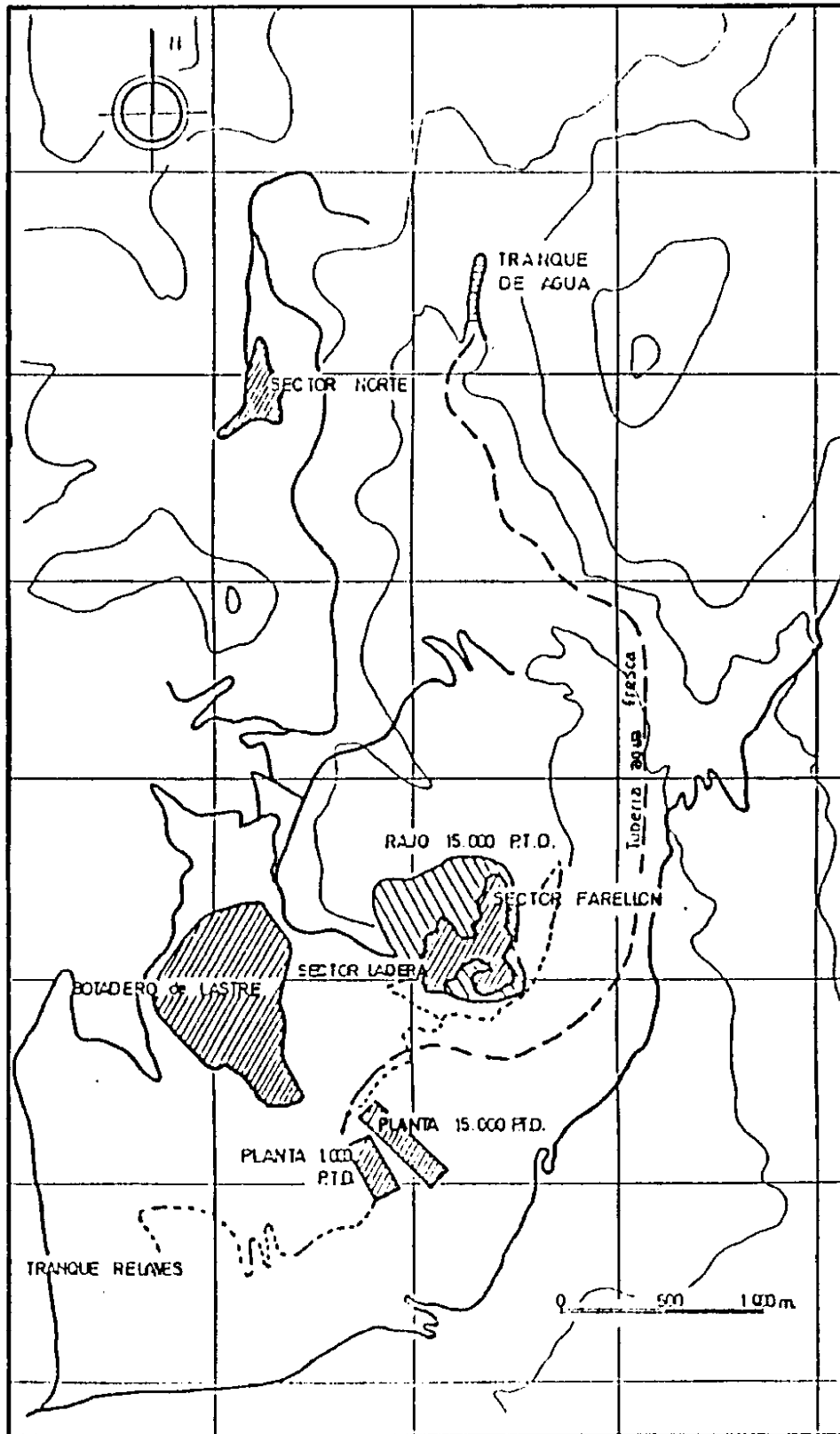


Fig 1.2. UBICACION DEL YACIMIENTO LA COIPA EN LA REGION DE ATACAMA



**Fig 1.3. UBICACION DE LAS PRINCIPALES AREAS
DEL YACIMIENTO LA COIPA**

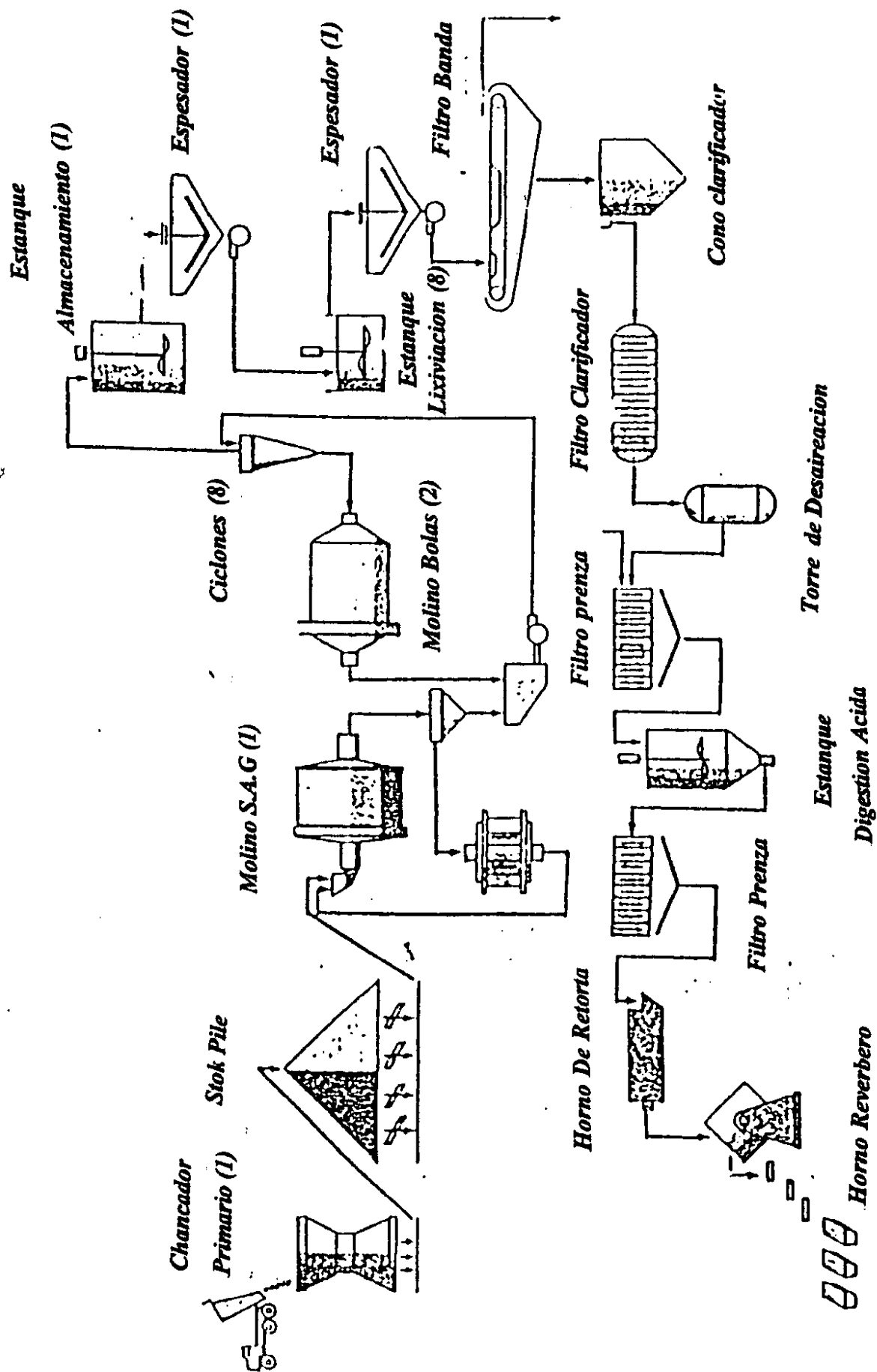


Fig. 1.4 DIAGRAMA FLUJO PLANTA LA COIPA

TABLA 1.1 . VALORES MENSUALES PROMEDIOS DE CONTENIDO DE Se EN EL

METAL DORE.

	02/93	03/93	04/93	04/93	08/93	09/93	10/93
Se ppm	1900	800	700	800	1600	800	1100
doré							

	11/93	12/93	01/94	02/94	03/94	04/94	05/94
Se ppm	800	900	670	700	1200	1700	1500
doré							

1.2 OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es el estudio teórico experimental del comportamiento del Selenio en la fusión de calcinas y su posterior eliminación del proceso. Por lo tanto, los objetivos específicos planteados para el presente estudio se resumen como sigue:

- i) Seguimiento del Selenio en las etapas de filtrado de precipitados, calcinación de precipitados y fusión de calcinas.**
- ii) Determinar factores que influyen en la disminución del Selenio en el metal doré.**
- iii) Plantear soluciones, que permitan disminuir el contenido de Selenio en el metal doré.**

CAPITULO II

ANTECEDENTES TEORICOS

2.1 Descripción del elemento Selenio

El Selenio, Se, número atómico 34, peso atómico 78.96, esta situado en el grupo VI y período 4 de la tabla periódica entre el azufre y el telurio, sus estados de oxidación más importantes son -2, 0, +2, +4 y +6. El Selenio fue descubierto en 1817. Berzelius y Gahn estudiaron los depósitos rojos formados al quemar pirita procedente de un mina de Suecia, su nombre deriva del Griego Selene (luna). El Selenio está profundamente difundido en toda la corteza terrestre; la concentración media calculada es de 0.09 p.p.m, ligeramente menor que la concentración de la plata y del indio, que se estima en 0.1 p.p.m, la distribución de Selenio es muy variable, pero en ninguna parte se halla en cantidades suficientes para hacer provechosa la extracción del mismo por sí solo. El Selenio es un componente primario de los magmas intrusivos y extrusivos de los gases volcánicos. Se le encuentra asociado con el azufre y con sulfuros metálicos, principalmente con los de hierro, níquel, cobre, plata y en menor grado, el plomo y el mercurio.

La producción mundial de Selenio es obtenida casi totalmente como subproducto en la recuperación de metales preciosos en lodos de refinación electrolítica del cobre. Los métodos más importantes para el tratamiento de los lodos son:

2.1.1 Fundición con carbonato sódico anhidro

2.1.2 Tostación con carbonato sódico anhidro

2.1.3 Tostación con ácido sulfúrico

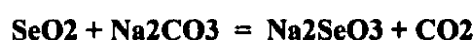
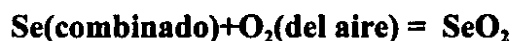
2.1.1 FUNDICION CON CARBONATO SODICO

Este es un método pirometalúrgico. Los lodos crudos se separan primero del cobre por tostación oxidante seguida de lixiviación con ácido sulfúrico diluido. Los lodos tratados se mezclan con carbonato sódico y sílice y luego se funden en un horno de metal doré. Las primeras escorias son de sílice. Su contenido de Selenio es bajo; pero contiene impurezas tales como hierro, arsénico, antimonio y plomo. Luego se inyecta aire a través de la carga fundida para oxidar y volatilizar todo el Selenio y Teluro que sea posible. Los óxidos volatilizados se recogen en un sistema depurador de Cottrell. Luego se trata la carga con más carbonato de sodio para eliminar en forma de escoria sódica toda el Selenio y Teluro remanente.

La escoria sódica se lixivia con agua y se filtra para obtener un líquido alcalino que contiene Selenito de sodio y Telurito de sodio. Este líquido se neutraliza a pH 6.2 con ácido sulfúrico o con soluciones ácidas procedentes del sistema depurador de Cottrell. De este modo se precipita el Teluro como ácido Telurioso, que puede tratarse para la obtención de Teluro. El filtrado se acidula, se junta con las demás soluciones procedentes del lavador y se trata con dióxido de azufre para precipitar el Selenio en forma de un lodo rojo amorfo. El lodo se hierve con vapor directo para coagular el Selenio coloidal que pudiese estar presente y para transformar el precipitado rojo en la forma negra metálica. Esta se lava, seca y pulveriza. La destilación del Selenio seco aumenta su pureza, pero no es práctica común. En unas cuantas refinerías se efectúa la precipitación en solución caliente con agitación. El precipitado es de

color negro metálico y se encuentra finamente dividido. El proceso es sencillo y económico y se emplea en varias refineries.

Algunas de las reacciones que se realizan son las siguientes:



2.1.2 TOSTACION CON CARBONATO SODICO

Una modificación del método pirometalúrgico consiste en la tostación del lodo crudo o descubrizado, mezclado intimamente con carbonato sódico finamente pulverizado. La temperatura debe mantenerse debajo de la temperatura de aglutinación para asegurar el exceso del aire, que es esencial para la eliminación del Selenio. La carga se remueve durante el tratamiento. El producto calcinado es lixiviado con agua, y el Selenio se extrae de la solución por dos métodos. En el primero se neutraliza la solución para precipitar el Teluro y luego se trata con dióxido de azufre, preferentemente en presencia de ácido clorhídrico. El segundo método los lodos con un contenido bajo de Telurio, el líquido de lixiviación se evapora a sequedad y el Selenito y Seleniato de sodio se reducen con coque a Seleniuro. Este se disuelve de nuevo y se le inyecta aire para precipitar el Selenio y generar hidróxido de sodio, que se carbonata y retorna al proceso. Con una tostación adecuada puede recuperarse 95% o más, del Selenio.

2.1.3 TOSTACION CON ACIDO SULFURICO

En la tostación añadiendo ácido sulfúrico concentrado a los lodos de la operación, durante la tostación el ácido reacciona como oxidante y como azufre de sulfatación , el dióxido de Selenio se expulsa por la tostación y se recoge en un sistema de lavado húmedo de Cottrell. Una fracción de Selenio se precipita en el lavador por la acción del dióxido de azufre generado por la descomposición del ácido sulfúrico. Tanto los lodos de Selenio como la solución procedente del lavador son bastantes puros y de ellos se obtiene Selenio refinado de buena pureza.

2.2 USOS DEL SELENIO

Se utiliza principalmente en la fabricación de pigmentos, en electrónica , cerámica y vidrio. La conductividad eléctrica no es muy alta en la oscuridad, pero puede aumentar por un factor de varios cientos al exponerse a la luz. Por esta propiedad, el Selenio es útil en la fabricación de celdas fotoeléctricas. La causa de castigos en la comercialización de metal doré se debe a los óxidos de plata, con contenido de selenio, que se usa en la fabricación de rollos fotográficos.

Cuando ocurre esta situación, las fotografías al revelarse salen con pigmentos rojos.

2.3 TOXICIDAD DE SELENIO

El Selenio y sus compuestos son sustancias venenosas. Ellas actúan sobre varios

órganos del cuerpo humano y la gravedad de las lesiones depende de la concentración de las sustancias. Pequeñas cantidades de selenio, al ingresar al organismo, provocan delicados y serios envenenamientos, irritación en el sistema respiratorio, prolongados dolores de cabeza . Los haluros causan inflamación y ronchas en la piel, el Selenio elemental es menos tóxico que sus compuestos.

Todavía la acción tóxica de los compuestos del Selenio no son muy conocidas, el mayor envenenamiento los produce los seleniuros , dióxido de selenio, haluros y elementos pesados de los compuestos de Selenio. La inhalación de ácido selenioso causa vómitos , diarreas, convulsiones, disminuye la presión sanguínea, y posiblemente produce parálisis al sistema nervioso (2).

2.4 FACTORES DE SEGURIDAD

Bajo reglas y condiciones de seguridad en los lugares de trabajo, se evita el envenenamiento por la manipulación de estas sustancias, las precauciones industriales son: buena limpieza, eficiente ventilación , aseo personal, cambio frecuente de ropa y utilización de mascarar contra polvo y gases, anteojos de seguridad , cambio frecuente de guantes (1).

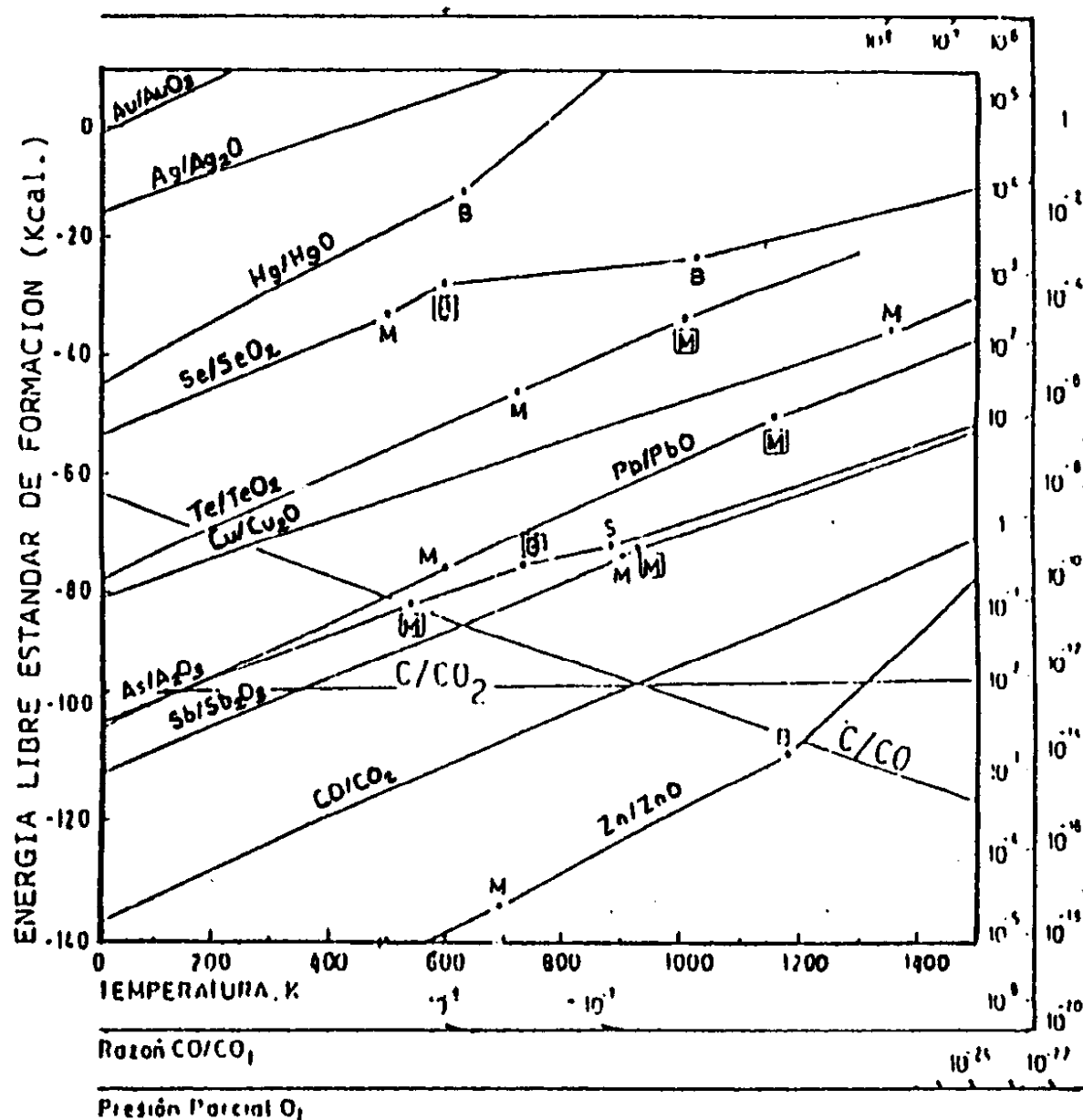
2.5 DIAGRAMA DE ELLINGHAM PARA LA REFINACION A FUEGO DE METALES PRECIOSOS .

La refinación de los productos metálicos obtenidos al final de la fusión, es un proceso que se basa fundamentalmente en la mayor afinidad por el oxígeno que poseen las impurezas

metálicas comunes en relación a los metales preciosos. La Fig 2.1, muestra un diagrama de Ellingham que explica la refinación oxidante de los metales preciosos, de este diagrama se puede hacer algunos alcances importantes con respecto a la factibilidad termodinámica de eliminación de impurezas por oxidación. Tal como se observa en el diagrama, el oro no se oxida aún a presiones de 1 atm de oxígeno; sin embargo, la plata es posible oxidarla en condiciones fuertemente oxidantes; hasta un cierto nivel limitado de temperatura. Por ejemplo, si se asume una presión de 1 atm de oxígeno, es decir plata en contacto con oxígeno puro, el óxido de plata formado se descompone a una temperatura de aproximadamente 210 C°.

El orden creciente de estabilidad de los óxidos en equilibrio con su correspondiente elemento es: Selenio, Teluro, Cobre, Plomo, Arsénico, Antimonio y Zinc. Sin embargo en la práctica se ha comprobado mediante trabajos a nivel de laboratorio y en la práctica industrial, que el Selenio y el Teluro son más fáciles de eliminar que el cobre a pesar de ser en principio menos oxidables.

Se puede apreciar que los óxidos de Selenio y Arsénico subliman a temperatura relativamente bajas en relación a las empleadas en la práctica, es decir se predice una mayor eliminación vía gaseosa, mientras que los óxidos de Antimonio y Teluro se funden a temperaturas un poco más altas que los anteriores, es decir, termodinámicamente esta favorecida la eliminación mediante escorificación. Por lo tanto, no es extraño que estas dos vías de eliminación para los elementos mencionados se presenten en la práctica. Se puede apreciar también que a temperaturas próximas a la de operación industrial para la refinación de metal doré es posible eliminar el óxido de Plomo mediante escorificación, mientras que el óxido de Zinc se escorifica y volatiliza. El diagrama de Ellingham para la refinación de metal doré está de acuerdo a lo que generalmente ocurre en una operación industrial, con ciertas excepciones, notables, como es



**Fig 2.1 DIAGRAMA DE ELLINGHAM DE LA REFINERIA A FUEGO
A METAL DORE**

el caso del cobre. Estudios experimentales han dado como resultado que la cinética de eliminación de las impurezas como Se, Cu y Te en el proceso de fusión de barras anódicas descubiertas en presencia de escoria está limitado por la transferencia de oxígeno desde la fase gaseosa hacia la fase metálica (3).

2.6 ANTECEDENTES PRACTICOS

La eficiente eliminación de Selenio va acompañada de una buena eliminación de Teluro y Cobre, lo que insinúa que la eliminación de Selenio no procede hasta que el teluro y cobre se hayan reducido a niveles tales que en el metal doré que sus eliminaciones dejen disponibilidad de oxígeno para la volatilización del Selenio como dióxido. De ahí que, en presencia de escoria el Selenio tenga una muy lenta cinética de volatilización (4). La velocidad de agitación influye también en la cinética de eliminación de Selenio. La presencia de escoria, en el caso de un sistema agitado, no afecta la evolución de $\text{SeO}_2(\text{g})$ a partir de la superficie del metal doré, al contrario de lo observado en sistemas estáticos, donde la falta de superficie libre de metal doré impide la transferencia hacia la fase gas (5).

2.7 DESCRIPCION Y ANTECEDENTES OPERACIONALES DE LA FUSION

2.7.1 DESCRIPCION DEL AREA DE REFINERIA

Un esquema general del área de Refinería es mostrado en la Fig 2.2. Esta figura detalla el tratamiento de la solución que viene del área de lixiviación para obtener el producto final de esta área.

La Refinería se alimenta de solución rica no clarificada desde el rebalse del espesador de lixiviación más soluciones de filtrado y primer lavado de filtros de relaves. La suma de estas soluciones es recibida en un estanque de solución rica no clarificada, del cual, la solución es bombeada a un estanque distribuidor que alimenta a los clasificadores de cono. La solución del rebalse de los clasificadores de cono se almacena en un estanque de solución rica preclarificada, y esta solución es finalmente bombeada a los filtros clarificadores. Los sólidos retenidos en estos filtros pasan al estanque de sedimentación, y la solución filtrada es acumulada en un estanque de solución rica clarificada, esta solución es bombeada a las torres de desaireación, las cuales cumplen la función de eliminar el oxígeno disuelto en la solución por la acción de bombas de vacío.

En esta etapa se ha completado el acondicionamiento de la solución rica. El proceso de precipitación comienza con la adición de una pulpa de zinc en el flujo proveniente de las torres de desaireación y el precipitado es obtenido en los filtros prensas. La solución resultante de los filtros de precipitado se denomina solución estéril. Los precipitados retenidos en los filtros prensa son descargados y transportados a estanques de digestión ácida para lixiviar el zinc de los precipitados mediante la adición de ácido sulfúrico. Los gases resultantes de la digestión

ácida son lavados con solución de NaOH, y posteriormente eliminados a la atmósfera. La pulpa de barros ácidos es bombeado a los filtros prensa para barros ácidos, y la solución filtrada va a un estanque de neutralización y finalmente bombeada a filtrado de relaves.

Los barros ácidos filtrados son transportados a los hornos de retorta de donde se elimina el mercurio por calentamiento, el que es recuperado por condensación como producto final.

Como producto resultante de las retortas se obtiene la calcina, estas son mezcladas con los fundentes adecuados para su fusión y refinación en los hornos reverberos basculantes a petróleo. Los gases generados en la fundición son lavados y eliminados a la atmósfera. En este proceso se obtiene escoria y metal doré como producto de venta principal del tratamiento del mineral de oro y plata. Las escorias que retienen oro y plata son reprocesadas. El metal doré es moldeado en barras de 29 kg aproximadamente que son almacenadas en la bóveda para su posterior comercialización.

2.7.2 DESCRIPCION DE LA FUSION EN HORNO REVERBERO BASCULANTE

La fusión de calcinas se realiza en un horno cuyo esquema se muestra en la Fig 2.3. Su construcción está basada en su parte exterior por planchones de fierro fundido y en su interior por un cemento refractario de alta alúmina y extra bajo cemento. Este horno tiene una capacidad de crisol aproximadamente de 2000 Kg y se opera con un quemador que usa petróleo diesel como combustible. La carga del horno esta constituida por calcina, fundentes, los cuales son bórax decahidratado y carbonato de sodio, y además escorias ricas y doré mal moldeado.

Las actividades en esta etapa son:

- 1.- Preparación de la carga formada por calcina y fundente.
- 2.- Carguío del horno con la mezcla calcina - fundente.
- 3.- Basculación del horno.
- 4.- Fusión de la mezcla calcina - fundente.
- 5.- Escoriado
- 6.- Carguío del horno con la mezcla calcina - fundente.
- 7.- Basculación del horno.
- 8.- Fusión de la mezcla calcina - fundente.
- 9.- Escoriado
- 10.- Carguío del horno con la mezcla calcina - fundente.
- 11.- Basculación del horno.
- 12.- Fusión de la mezcla calcina - fundente.
- 13.- Escoriado

14.- Colada de metal doré.

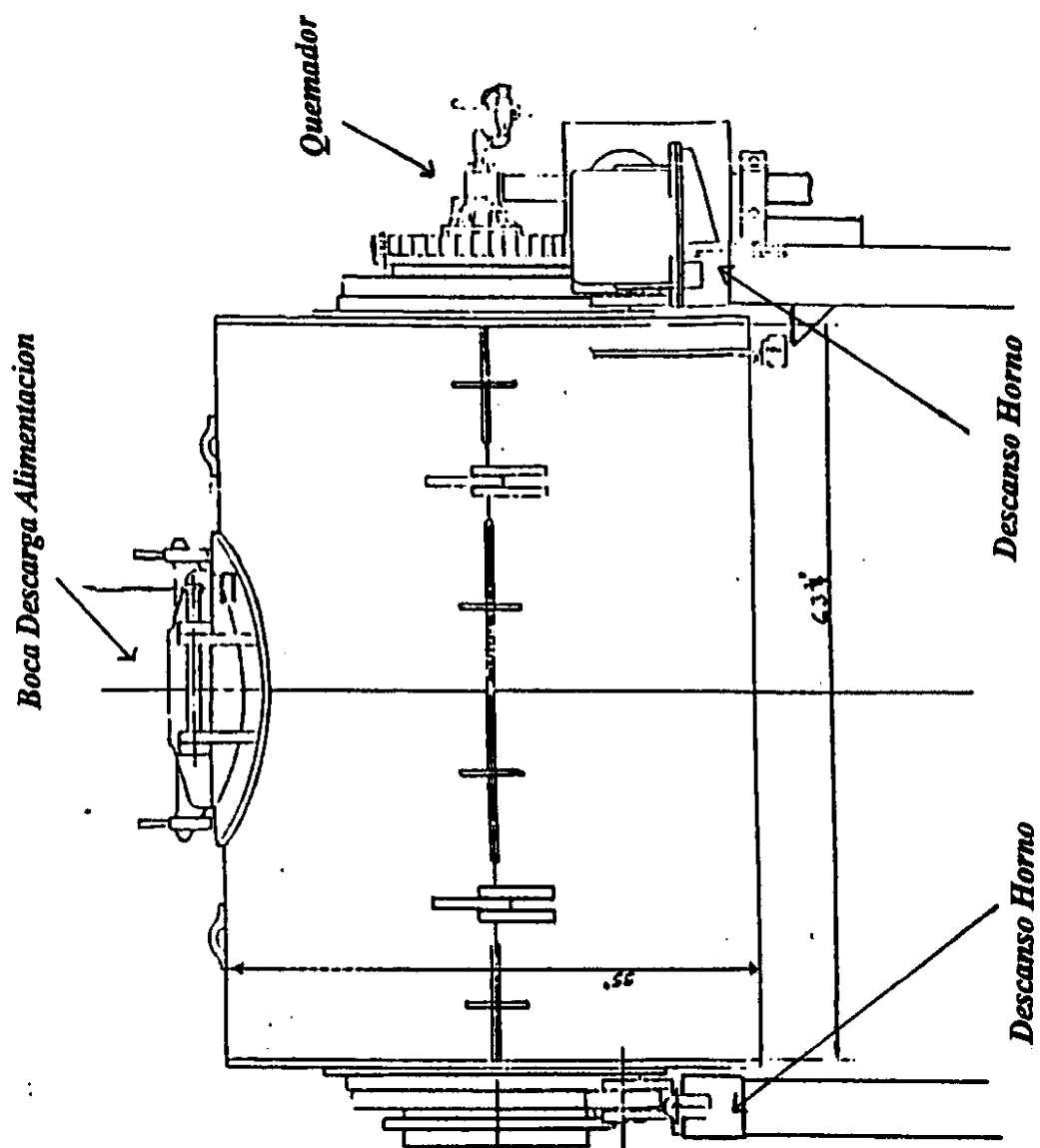


Fig 2.3 ESQUEMA HORNO REVERBERO BASCULANTE

2.7.3 OPERACION HORNO REBERVERO BASCULANTE

A continuación, se presenta una operación del horno rebervero basculante a modo de ejemplo, realizada el día (10/03/94)

SITUACION: El horno opera las 24 horas en forma continua

DOTACION : dos operadores por turno

N°TURNO : dos A y B

N° DE ETAPA	HORA INICIO (hrs)	HORA TERMINO (hrs)	HORA DURACION (hrs)
I CARGA:	06:30	06:45	0:15
400 kg calcina			
100 kg borax			
24 kg soda			
I BASCULACION	11:25	11:35	0:10
I FUSION	06:45	11:35	4:55
I ESCORIADA	11:35	11:40	0:05

II CARGA:	11:40	11:50	0:10
250 kg calcina			
62.5 kg borax			
15.0 kg soda			
II FUNDICION	11:50	13:00	1:10
II ESCORIADA	3:00	13:03	0:03
III CARGA:	13:03	13:13	0:10
250 kg calcina			
62.5 kg borax			
15.0 kg soda			
III FUNDICION	13:13	15:00	1:47
III ESCORIADA	15:00	15:07	0:07
IV CARGA:	15:07	15:20	0:13
300 kg calcina			
75.0 kg borax			
18.0 kg soda			
II BASCULACION	17:15	17:30	0.15
IV FUNDICION	15:20	18:35	3:20
IV ESCORIADA	18:35	18:40	0.05
MOLDEO	18:40	18:50	0.10
TOTAL CALCINA	1200 kg		
TOTAL HORAS	12:10		

CAPITULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Mediante un estudio detallado del problema que ocurre durante la fusión a metal doré, y luego con un conocimiento más en detalle del problema presentado durante la etapa de fusión en que se observa la aparición de un alto contenido de Selenio en el metal doré y luego del análisis de los antecedentes teóricos recopilados se siguió la siguiente pauta experimental.

PAUTA EXPERIMENTAL

- 3.1 Seguimiento del Selenio**
- 3.2 Prueba preliminar**
- 3.3 Prueba final**

3.1 SEGUIMIENTO DEL SELENIO

Como primer paso se observó el comportamiento del Selenio en la fusión, por tal motivo se realizó un muestreo a los procesos de precipitación, calcinación y fusión, para ello se eligió los batch siguientes: B-385, B-386, B-387, B-407, B-411 Y B-416 . Batch es la cosecha de un filtro prensa y se le designa un numero desde la descarga del filtro prensa hasta la etapa de fundición de la calcina. Calcina es el producto de la calcinación en el horno de retortas con un porcentaje de Mercurio menor al 2% y Prill es una muestra de metal doré que se obtiene al momento de la colada, se toma esta muestra con un crisol cada

tres barras coladas y se introduce en un balde con agua que tiene en la boca una malla con el proposito que el doré tome la forma de granallas, formando un composito de prill correspondiente a la colada, al prill se le designa un número correspondiente a la colada, es decir para un batch hay 2, 3, 4 y hasta 5 coladas por lo tanto hay 5 prilles con sus correspondientes escorias.

La Fig 3.1 muestra un esquema de las tomas de muestras en los diferentes procesos. Estas muestras fueron roleadas y cuarteadas para análisis químico.

3.2 PRUEBA PRELIMINAR

Para conocer el comportamiento del Selenio se realizaron seis pruebas a nivel industrial en el horno reverbero basculante del área de Refineria de la planta La Coipa para las cuales la variable a estudiar fue la relación aire - petróleo inyectada al horno. Estas variables fueron controladas por la abertura de las válvulas de regulación del aire y petróleo inyectado al horno, la carga de fundente utilizada para las pruebas fue la misma que se usa en la fusión de calcinas calculada para cada batch en particular y el procedimiento de operación del horno fue el normal (en el apéndice se detalla el cálculo de la carga de fundente y la operación del horno en el capítulo II) la Tabla 3.2 muestra la dosificación aire - petróleo inyectada al horno en cada una de las pruebas. Los batch muestreados fueron los siguientes: B-422 para dos coladas, B-438, B-439 y B-449 para dos coladas, el muestreo, preparación, y análisis químico de las muestras es el mismo que se muestra la Fig 3.1 y la Tabla 3.1.

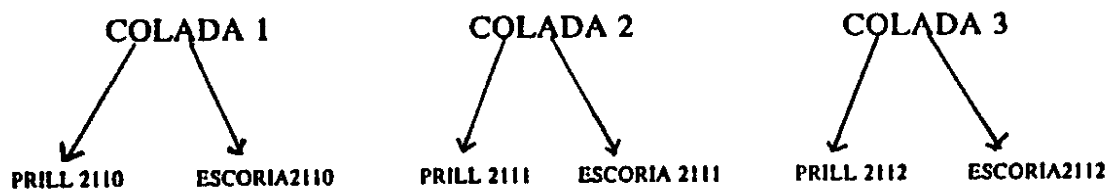
FILTRO PRENSA**MUESTRA PRECIPITADO****COMPOSITO POR PLACAS (B-407)****RETORTAS****MUESTRA CALCINA****COMPOSITO RETORTA (B-407)****HORNO REVERBERO****MUESTRA DORE****COMPOSITO POR CADA TRES BARRAS COLADAS****FIG 3.1 SISTEMA DE MUESTREO EN EL PROCESO**

TABLA 3.1 : TABLA DE ANALISIS QUIMICO; LAS X INDICAN

ANALISIS QUIMICO

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	SiO2	Se
PRECIPITADO	X	X	X	X	X	X
CALCINA	X	X	X	X	X	X
DORÉ	X	X				X
ESCORIA	X	X				

**TABLA 3.2 : DOSIFICACION DE AIRE - PETROLEO INYECTADA AL
HORNO**

MUESTRA	% AIRE	% PETROLEO
PP1	50	52
PP2	40	53
PP3	100	60
PP4	80	50
PP5	45	53
PP6	60	48

3.3 PRUEBA FINAL

Se realizó una prueba, a nivel industrial de inyección de oxígeno al baño de metal doré a travez de lanza, en donde una vez realizada la última escoriada de la etapa de fusión con el procedimiento de operación normal del horno y utilizando los mismos fundentes habituales (ver en apendice cálculo de la carga de fundente y procedimiento de operación del horno en el capítulo II) se inyecta oxígeno al baño de metal doré, consiste en oxidar el Selenio y volatilizarlo como SeO_2 . Los batch elegidos para las pruebas fueron el B-475 y B-484, el muestreo, preparación y análisis químico es el mismo que se muestra en la Fig 3.1, y Tabla 3.1, con excepción de la muestra de prill y escoria con inyección de oxígeno que se agrega adicionalmente. La Tabla 3.3 muestra la dosificación de oxígeno y tiempo de duración de las pruebas.

3.3.1 DESCRIPCION DE LA INSTALACION DE INYECCION DE OXIGENO

La instalación por razones de seguridad fue hecha para evitar accidentes, El tubo de oxígeno estubo ubicado a 2.90 metros del horno detrás de la pared del edificio que lo alberga, conectado a una lanza de 3.75 metros de largo mediante una manguera de alta presión. Para el control de la operación, se instaló un manómetro a la salida del flujo de oxígeno para operar con una presión de 0.8 y 0.95 atm en cada una de las pruebas con el objeto de vencer la presión del baño metálico. La lanza que se introdujo al horno era de acero inoxidable de 3/8 pulgada de diámetro.

3.3.2 PROCEDIMIENTO DE OPERACION DE LA INYECCION DE OXIGENO

Concluido el proceso normal de fundición según procedimiento de operacion de fundición (capitulo II), y realizada la última escoriada, la inyección de oxígeno se realizó como sigue:

- 1.- Se calentó el baño de doré por 15 minutos.**
- 2.- Se tomó una muestra de prill para conocer el porcentaje de Selenio inicial en el baño de doré.**
- 3.- Se puso llama oxidante y se bascula horno en posición de descarga.**
- 4.- Se introdujó la lanza al horno en posición centro.**
- 5.- Se abrió la válvula del regulador de oxígeno para lograr una presión en la lanza de 0.8 y 0.9 atm.**
- 6.- Se cambió de posición la lanza cada 15 minutos para lograr llegar con el oxígeno a todo el baño de doré durante un tiempo total de 45 y 30 minutos, respectivamente, en cada una de las pruebas.**
- 7.- Se escorificó el horno.**
- 8.- Se tomó una muestra de prill para conocer la concentración de Selenio final en el metal doré.**
- 9.- Se continuó con el proceso de moldeo de barra normal.**

TABLA 3.3 : DOSIFICACION Y TIEMPO DE INYECCION DE OXIGENO

PRUEBAS	OXIGENO (L/M)	DURACION(M)
PF1	774.82	45
PF2	124.7	30

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

Se presenta a continuación, los principales resultados obtenidos y la discusión de estos resultado.

4.1 SEGUIMIENTO DE SELENIO

En este seguimiento se aprecia el comportamiento del Selenio en los distintos batch para lo cual se efectuaron los balances de Selenio que se resumen en la Tabla 4.1. En esta tabla aparecen los finos de Selenio y la distribución porcentual de este, para una mejor visualización del resultado de esta tabla se graficó los finos de Selenio en el Gráfico 4.1 y la distribución porcentual en el Gráfico 4.2. En estos gráficos se puede apreciar que la distribución de Selenio esta sujeta a la ley de cabeza de Selenio en la calcina, y por lo observado en la práctica, la distribución de Selenio esta sujeta también a la manera que tiene cada fundidor para operar el horno, como el tiempo y tipo de llama necesarios al iniciar el calentamiento de la calcina recién cargada al horno y tiempo de basculación del horno. todas estas variables insiden en la evolución de Selenio, pues estudios practicos realizados (5) demuestran que cuando el inicio de la fusión de calcina es lento hay mayor evolución de Selenio vía volatilización y que al haber agitación en el horno la evolucion de Selenio es mayor que cuando no la hay. Se observa que el contenido de Selenio en la escoria es bajo en comparación al contenido de Selenio en los gases.

TABLA 4.1 BALANCE DE SELENIO PARA SEGUIMIENTO DE SELENIO

N°BATCH	BATCH 385		BATCH 386		BATCH 387	
MUESTRA	Fino Se (kg)	FinoSe (%)	FinoSe (kg)	Fino Se (%)	Fino Se (kg)	Fino Se (%)
CALCINA	1,2	100	1,3	100	1,3	100
DORÉ	0,54	45	0,62	48	0,18	14
ESCORIA	0,12	10	0,11	8.5	0,12	9.2
GASES	0,54	45	0,57	44	1,00	77
N°BATCH	BATCH 407		BATCH 411		BATCH 416	
MUESTRA	Fino Se (kg)	FinoSe (%)	FinoSe (kg)	Fino Se (%)	Fino Se (kg)	Fino Se (%)
CALCINA	0,8	100	1,0	100	0,7	100
DORÉ	0,41	51,25	0,74	47	0,55	78,6
ESCORIA	0,02	2,5	0,013	1,3	0,08	11,4
GASES	0,37	46,25	0,247	24,7	0,07	10,0

GRAFICO 4.1

DISTRIBUCION DE SELENIO

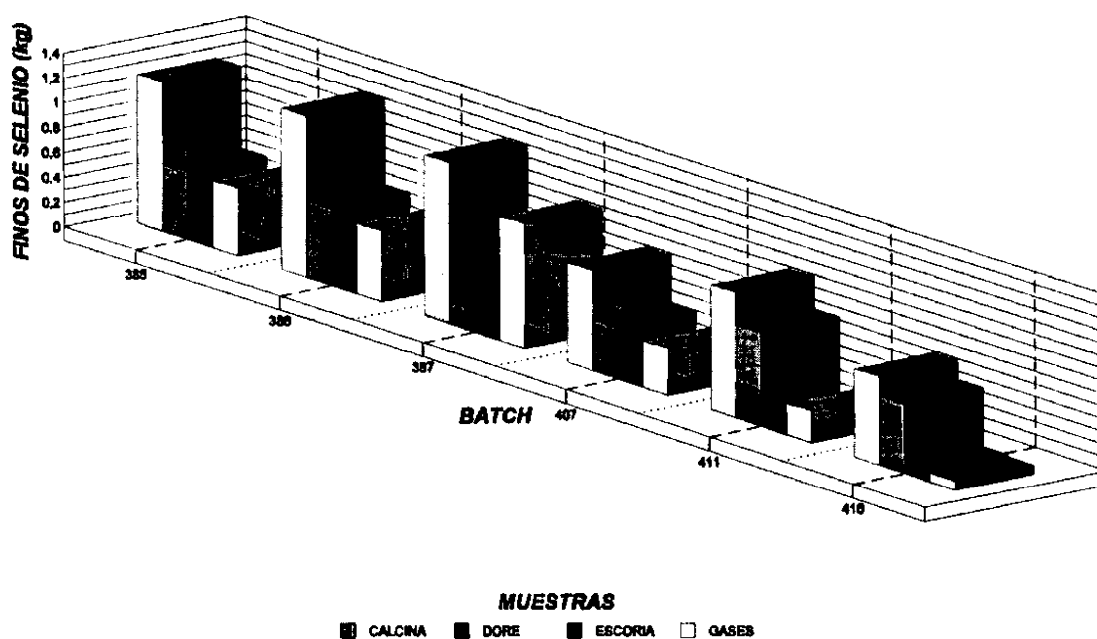
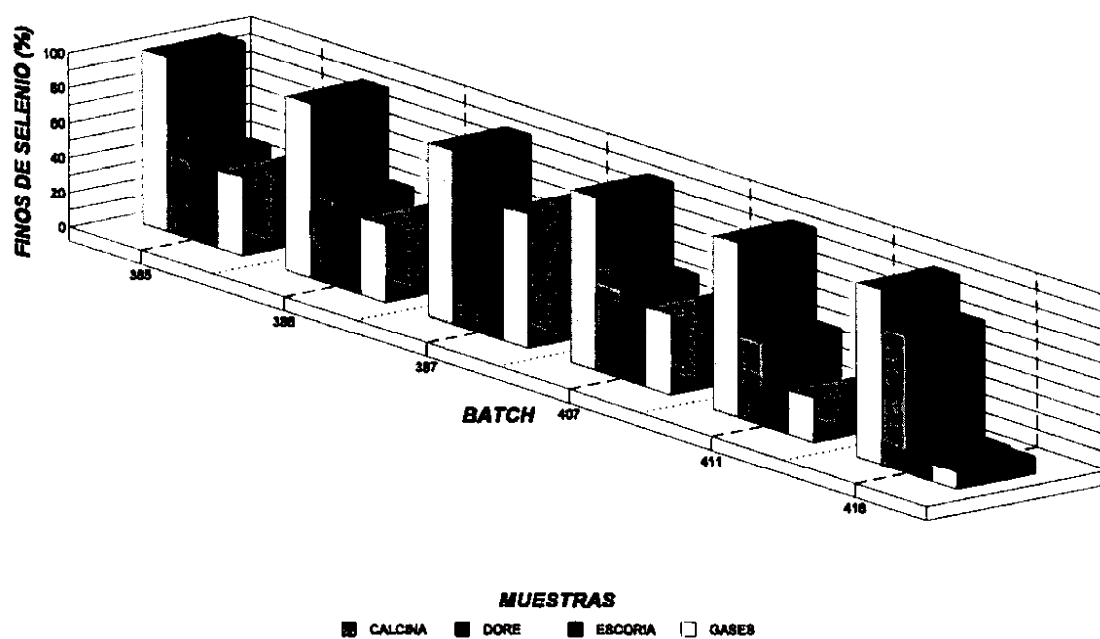


GRAFICO 4.2

DISTRIBUCION DE SELENIO



4.2 PRUEBA PRELIMINAR DE FUSION DE CALCINAS

El efecto estudiado en esta prueba fue la atmósfera de combustión en base a los porcentajes de aire y petróleo inyectado al horno, para lo cual se calculó los balances de Selenio para las diferentes pruebas que se resumen en la Tabla 4.2 se graficó estos resultados para una mejor visualización de este estudio, el Gráfico 4.3 muestra los finos de Selenio v/s razón aire-petróleo y el Gráfico 4.4 muestra el porcentaje de Selenio v/s razón aire-petróleo. En los que se observa que el contenido de Selenio en la escoria es bajo en comparación con el contenido de Selenio en los gases.

Se puede apreciar que los contenidos de Selenio en los gases es mayor que en el metal doré, lo que indica que buscando la relación aire - petróleo apropiada se puede eliminar mayor cantidad de Selenio.

La relación aire - petróleo 1.667 (100/60) en la PP3, fue en la que quedó menor contenido de Selenio en el doré un 24% del Selenio inicial contenido en la calcina. Lo observado anteriormente nos indica que más Selenio de lo eliminado en los gases (69%) no es posible eliminar con la atmósfera de combustión ya que el aire está en 100%, por lo tanto el oxígeno también está en un 100% por lo que no habría más volatilización del Selenio por falta de oxígeno.

TABLA 4.2 BALANCE PARA SELENIO PARA PRUEBA PRLIMINAR

PRUEBAS	PP1		PP2		PP3	
MUESTRA	Fino Se	FinoSe	FinoSe	Fino Se	Fino Se	Fino Se
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
CALCINA	0,9	100	0,9	100	1,0	100
DORÉ	0,43	48	0,37	41,1	0,24	24
ESCORIA	0,003	0,3	0,12	13,3	0,07	7
GASES	0,47	52	0,41	45,6	0,69	69
PRUEBAS	PP4		PP5		PP6	
MUESTRA	Fino Se	FinoSe	FinoSe	Fino Se	Fino Se	Fino Se
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
CALCINA	1,1	100	1,7	100	1,5	100
DORÉ	0,46	42	0,62	36,5	0,57	38
ESCORIA	0,15	14	0,03	1,76	0,06	4
GASES	0,49	44	1,05	61,8	0,87	58

GRAFICO 4.3

DISTRIBUCION DE SELENIO

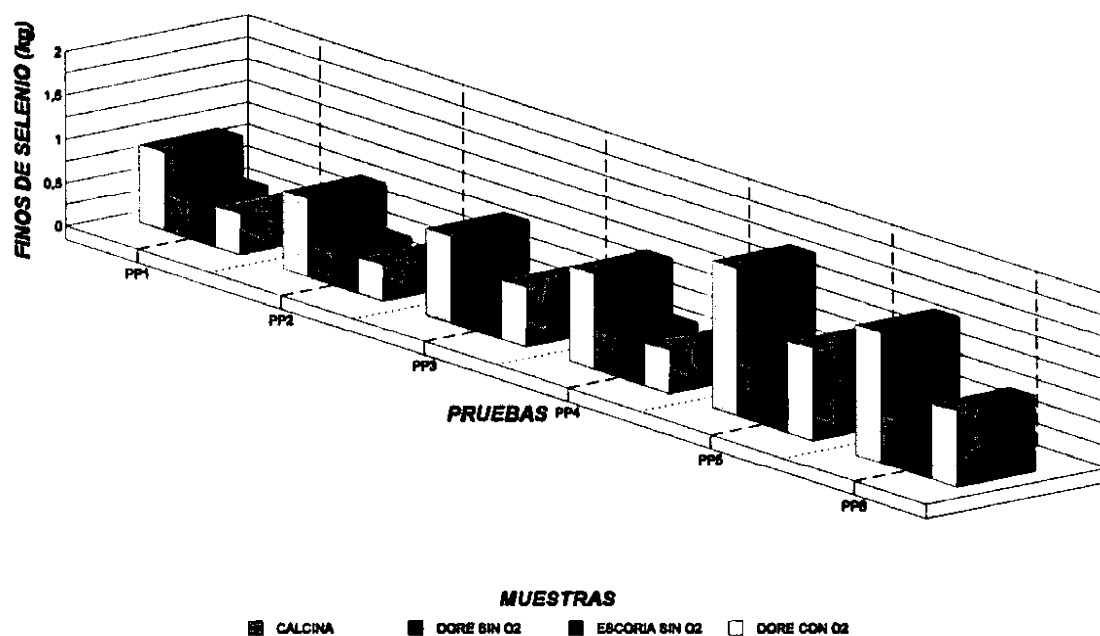
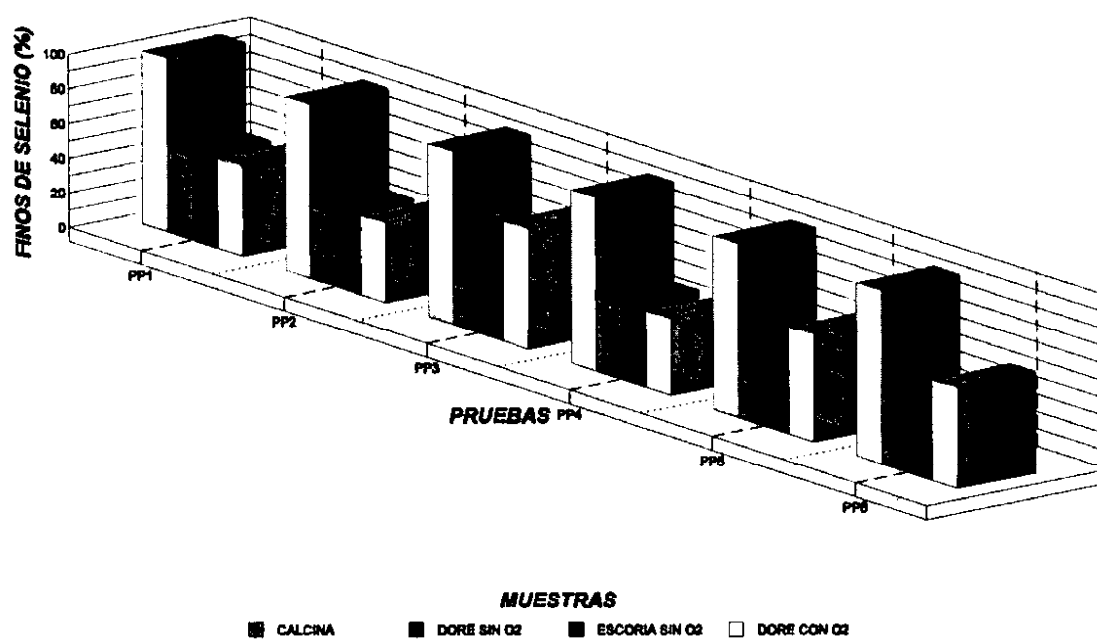


GRAFICO 4.4

DISTRIBUCION DE SELENIO



4.3 PRUEBA FINAL DE FUSION DE CALCINAS

En base a los resultados obtenidos en la prueba preliminar es que se realizó ésta prueba de inyección de oxígeno al baño de metal doré de la cual se obtuvo los resultados de análisis químico que se muestra en la Tabla 4.3 en ella se puede observar que el Selenio inicial en el metal doré bajó considerablemente en las dos pruebas finales. Para estas dos pruebas se realizaron los balances de selenio que se muestran en las Tablas 4.4 y 4.5, para una mejor visualización de los resultados se graficó estos balances para los finos de Selenio que se muestran en los Gráficos 4.5 Y 4.6.

En la PP1, Tabla 4.4 y Gráfico 4.5 se ve que la ley de Selenio en la calcina es más alta que la observada en las pruebas anteriores debido a que la ley promedio de Selenio en las calcinas es de 1200 ppm y en esta prueba fue de 3400 ppm, lo que implica que la ley de Selenio en el doré también es alto (1300) ppm. Esta ley es alta en comparación a las pruebas realizadas anteriormente. Se puede observar que en el doré sin inyección de oxígeno el porcentaje de selenio es de 29.32%, lo que representa una eliminación de Selenio de un 70.7%, esto es en la etapa normal de fusión de calcinas. En el caso del doré con inyección de oxígeno, éste tiene un porcentaje de 11.06% de Selenio, lo que corresponde a una eliminación de un 88.9%. La eliminación total del Selenio no fue posible debido a que hubo mayor ley de Selenio en la calcina de lo estimado, (1500 ppm en la calcina y 600 ppm en el doré) mientras que en la prueba hubo 3400 ppm y 1300 ppm respectivamente.

El oxígeno inyectado al baño de doré fue para 600 ppm, pero el resultado de eliminación de Selenio fue de 810 ppm, lo que indica que el exceso de oxígeno agregado en 15 minutos más sobre el teórico no es necesario.

En la PF2, Tabla 4.5 y Gráfico 4.6 se puede observar que en doré sin oxígeno hay un 36% de Selenio lo que corresponde una eliminación de Selenio de un 64% y en el doré con oxígeno hay un porcentaje de un 2.06% lo que corresponde a una eliminación de un 98 % .

En esta prueba la inyección de oxígeno se calculó para una ley de 900 ppm de Selenio sin agregar oxígeno en exceso y con una presión de oxígeno de 0.95 atm. La ley de Selenio resultante fué de 1230 ppm, quedando 70 ppm al final de la prueba, la mayor presión de oxígeno produjo la volatilización del Selenio por la agitación que se produjo en el baño. Se eliminó 260 ppm de Selenio por agitación del baño.

TABLA 4.3 : ANALISIS QUIMICO DE DORE PARA PRUEBA FINAL

PRUEBAS	PPM Se DORE INICIAL	PPM Se DORE FINAL
PF1	1300	490
PF2	1230	70

TABLA 4.4 : BALANCE DE SELENIO PARA PRUEBA FINAL 1

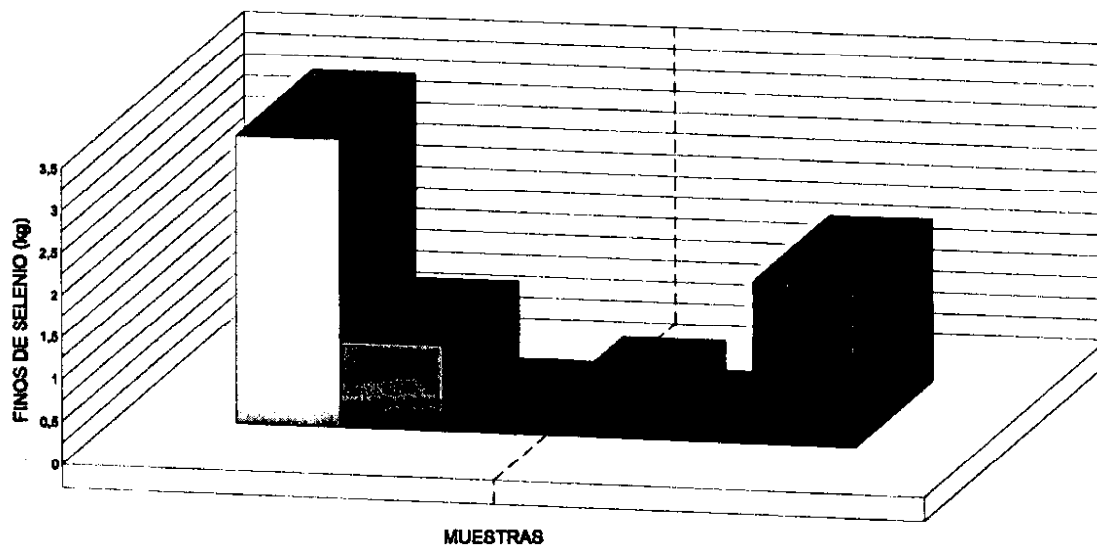
MUESTRAS	LEY Se %	FINO Se Kg	% Se
CALCINA	0,340	3,400	100
DORÉ SIN O ₂	0,130	0,997	29,32
ESCORIA SIN O ₂	0,056	0,078	2,29
DORÉ CON O ₂	0,049	0,376	11,06
ESCORIA CON O ₂	0,060	0,032	0,94
GASES	----	1,917	56,38

TABLA 4.5 : BALANCE DE SELENIO PARA PRUEBA FINAL 2

MUESTRAS	LEY Se (%)	FINO Se (Kg)	% Se
CALCINA	0,175	1,75	100
DORÉ SIN O ₂	0,123	0,63	36
ESCORIA SIN O ₂	0,0078	0,04	2,29
DORÉ CON O ₂	0,0070	0,036	2,06
GASES	---	1,044	59,66

GRAFICO 4.5

BALANCE DE SELENIO PF1

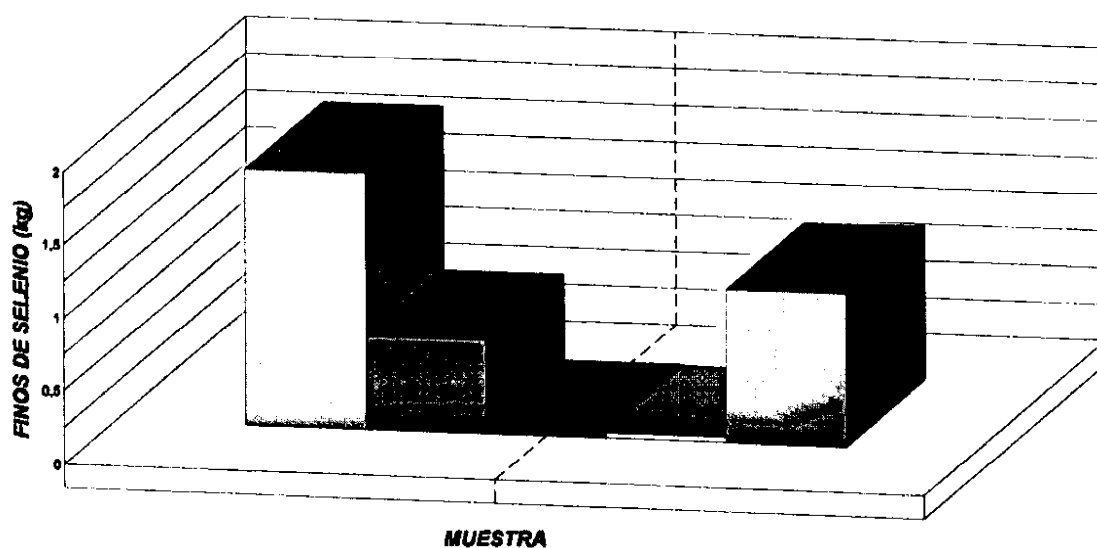


MUESTRAS

■ CALCINA ■ DORE SIN O2 ■ ESCORIA SIN O2 ■ DORE CON O2 ■ ESCORIA CON O2 ■ GASES

GRAFICO 4.6

BALANCE DE SELENIO PF2



MUESTRAS

■ CALCINA ■ DORE SIN O2 ■ ESCORIA SIN O2 □ DORE CON O2 ■ GASES

CAPITULO V

CONCLUSION

El Selenio se concentra durante los procesos de cianuración y precipitación.

La ley de Selenio en el metal doré depende de la operación realizada en la fusión.

Hay mayor eliminación de Selenio en el proceso de fusión cuando el calentamiento de la calcina al momento de iniciar la fusión se realiza en forna lenta.

Existe también mayor eliminación de Selenio cuando se bascula el horno en tiempo más prolongados.

El contenido de Selenio en el metal doré está sujeto a la ley de Selenio en la calcina, por lo tanto a mayor ley de Selenio en la calcina mayor ley de Selenio en el metal doré.

La prueba preliminar indicó que el oxígeno contenido en el aire de combustión, inyectado en su totalidad, eliminó mayor contenido de Selenio que con menor flujo de él, por lo que se inyectó más cantidad de oxígeno para eliminar el Selenio remanente .

En la prueba final la mayor evolución fue en la que se inyectó oxígeno a mayor presión y en menor tiempo de inyección, lo que indica que esta presión venció con mayor facilidad la presión del baño y produjo mayor agitación, y por lo tanto mayor evolución del Selenio en el metal doré.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) F.A Van Atta, "Enciclopedia Universal", 1970, 336,339,340
- (2) D.M Chizhikov, V.D Shchastlivyi, "Selenium and Selenides", 1968, 396, 397.
- (3) M.I Devia Perez, "Termodinámica de la fusión de barros anódicos a metal doré", tesis magister , 1990 , 45 , 46, 47.
- (4) A.A Luraschi, M.I Devia, J.A Zuñiga, "Cinética y termodinámica de eliminación de materiales que contienen metales preciosos" , Congreso Ingenieros de minas, 284.
- (5) A.A Luraschi, M.I Devia, M Hernández, "Estudio cinético de la fusión y refinación de barros anódicos para producir metal doré en sistema rotatorio".

APENDICE**A. RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO**

El precipitado, calcina , y doré estan expresados en (Kg/T) para Au Y Ag.

La escoria esta expresada en (gr/ton) para Au y en (kg/ton) para Ag.

El Hg, Zn, Se y SiO₂ están expresados en (%)

BATCH N°385

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIPI.	11,4	598,0	8,0	---	0,14	23,4
CALCINA	---	---	---	---	0,12	---
DORE	---	---	---	---	0,09	---
ESCORIA	---	---	---	---	0,02	---

BATCH N°386

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	13,0	613,0	8,2	---	0,15	20,5
CALCINA	---	---	---	---	0,13	---
DORE	---	---	---	---	0,10	---
ESCORIA	---	---	---	---	0,02	---

BATCH N°387

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	10,0	599,0	8,2	---	---	24,2
CALCINA	---	---	---	---	0,03	---
DORE	---	---	---	---	0,13	---
ESCORIA	---	---	---	---	0,02	---

BATCH N°407

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	11,3	687,8	6,0	0,38	0,11	17,0
CALCINA	11,2	728,6	0,56	---	0,08	---
DORE	16,1	980,9	---	---	0,0325	---
ESCORIA	12,9	11,4	---	---	0,0054	---

BATCH N°411

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	12,3	673,7	6,8	1,0	---	18,7
CALCINA	12,6	733,9	0,8	---	0,10	---
DORE	17,1	980,3	---	---	0,11	---
ESCORIA	7,6	7,1	---	---	0,0082	---

BATCH N°416

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	10,4	688,3	10,6	0,31	0,10	14,09
CALCINA	11,6	779,7	0,34	0,18	0,07	18,0
DORE	16,3	981,3	---	---	0,08	---
ESCORIA	10,3	8,2	---	---	0,02	---

BATCH N°422

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	14,4	605,6	22,25	0,51	0,08	11,51
CALCINA	19,7	779,1	1,5	0,26	0,09	13,40
DORE	22,0	977,0	---	---	0,07	---
ESCORIA	9,0	6,7	---	---	0,001	24,0
DORE	23,4	976,0	---	---	0,06	---
ESCORIA	20,0	10,7	---	---	0,04	28,8
DORE	23,4	972,4	---	---	0,07	---
ESCORIA	8,0	10,0	---	---	0,01	25,7

BATCH N°438

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	16,0	587,3	10,7	0,33	0,06	10,71
CALCINA	20,0	758,7	0,25	0,38	0,10	16,4
DORE	25,7	971,4	---	---	0,04	---
ESCORIA	6,7	6,0	---	---	0,02	---

BATCH N°439

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	16,1	583,8	12,0	0,34	0,06	11,98
CALCINA	20,6	750,6	0,91	0,28	0,11	16,0
DORE	26,0	971,6	---	---	0,08	---
ESCORIA	10,0	9,0	---	---	0,0	

BATCH N°445

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO2
PRECIP	12,0	568,0	24,8	0,7	0,13	10,3
CALCINA	---	---	---	---	0,11	---
DORE	---	---	---	---	0,06	---
ESCORIA	---	---	---	---	0,009	---

BATCH N°449

MUESTRA	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO ₂
PRECIP	9,6	520,5	27,0	1,09	---	9,2
CALCINA	---	---	---	---	0,17	---
DORE	---	---	---	---	0,12	---
ESCORIA	---	---	---	---	0,01	---
CALCINA	---	---	---	---	0,15	---
DORE	---	---	---	---	0,11	---
ESCORIA	---	---	---	---	0,02	---

BATCH N°475

MUESTRAS	Au	Ag	Hg	Zn	Se	SiO ₂
PRECIP	4,10	774,7	5,25	4,48	---	5,41
CALCINA	4,20	844,1	---	---	0,34	---
DORE S/O ₂	5,60	990,0	---	---	0,13	---
ESC S/O ₂	30,1	15,8	---	---	0,056	---
DORE C/O ₂	5,60	990,04	---	---	0,049	---
ESC C/O ₂	293,0	55,5	---	---	0,06	---

B. CALCULO BALANCE PARA SELENIO**BATCH N°407**

Peso final de fundente a adicionar a batch 407 para 100 Kg de calcina

Borax decahidratado	(Kg)	34
Ceniza de soda	(Kg)	7
Silice	(Kg)	0

		41

TABLA B.1 : ANALISIS QUIMICO

MUESTRA	% Au	% Ag	% Hg	% Zn	% Se	% SiO ₂
PRECIP	1,13	68,58	6,0	0,38	0,11	17,0
CALCINA	1,18	72,86	0,56	0,12	0,08	19,0
DORÉ	1,61	98,09	—	—	0,06	—
ESCORIA	0,00129	1,14	—	—	0,0054	—

1) Base de cálculo 1000 Kg de calcina

$$\text{Kg Se (calcina)} = 0.8$$

2) Doré

$$\text{Recuperación Au} = 99.5 \%$$

$$\text{Recuperación Ag} = 98.5 \%$$

$$\text{Fino Au Re} = 11.24 \text{ kg}$$

$$\text{Fino Ag Rec} = 675.32 \text{ Kg}$$

$$686.56 \text{ Kg}$$

$$\text{Kg Se (Doré)} = 0.41$$

3) Escoria

_ Borax decahidratado (340 Kg)

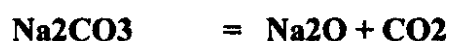


$$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 = 179.38 \text{ kg}$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 55.25 \text{ Kg}$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 124.13 \text{ Kg}$$

_ ceniza de soda (70 kg)



$$\text{NaO}_2 = 55.29 \text{ kg}$$

$$\text{Total NaO}_2 = 55.29 + 55.25 = 107.54 \text{ kg}$$

_ Silice (viene de la diatomea)

$$\text{ley Au precip} = 1.13 \%$$

$$\text{ley Ag precip} = 68.58 \%$$

$$\text{ley Hg precip} = 6.0 \%$$

$$\text{ley SiO}_2 \text{ precip} = 17.0 \%$$

$$86.71 \%$$

$$\text{SiO}_2 (\text{esc}) = 17.0 / (17.0 + 68.58 + 1.13) * 100$$

$$\text{SiO}_2 (\text{esc}) = 19.6 \%$$

$$\text{SiO}_2 (\text{esc}) = 196.0 \text{ Kg}$$

En la escoria hay:

$$\text{SiO}_2 = 196.0 \text{ kg}$$

$$\text{Na}_2\text{O}_0 = 107.54 \text{ kg}$$

$$\text{B}_2\text{O}_3 = 124.13 \text{ Kg}$$

$$427.67 \text{ Kg}$$

$$\text{Kg Se (escoria)} = 0.02$$

$$\text{Se(calcina)} = \text{Se(doré)} + \text{Se(escoria)} + \text{Se(gases)}$$

$$\text{Se(gases)} = 0.37 \text{ kg}$$

TABLA B.2: RESUMEN BALANCE DE SELENIO

MUESTRAS	Kg Selenio	% Selenio
CALCINA	0,8	100
DORÉ	0,41	51,25
ESCORIA	0,02	2,5
GASES	0,37	46,25

C. CALCULO DE LA INYECCION DE OXIGENO AL BAÑO DE DORE

El cálculo de oxígeno se realizó tomando la ley promedio de Selenio en las calcinas y la ley promedio de Selenio en el doré. El doré fué analizado por Se, Pb, Hg, Cu, As, y Fe.

Base de cálculo 100 kg.de calcina.

Ley precipitado Batch 457

Ley Au 1,05 %

Ley Ag 36,42 %

Fino doré recuperado

Fino rec. Au = $1,05 \times 0,985 = 1,034$ kg.

fino rec. Ag = $36,42 \times 0,995 = 36,24$ kg.

37,27 kg.

ECUACIONES DE REACCION

Según análisis químicos de metal doré y diagrama de Ellinham se generan las siguientes reacciones:



TABLA C.1 : MOLES DE OXIGENO REQUERIDO PARA CADA ELEMENTO

Doré : 37,27 Kg

ELEM	%	Kg	P.A	mol	mol O2
Au	2.85	1,06	197	5,38	-----
Ag	97,00	36,15	108	334,72	-----
Se	0,060	0,022	79	0,278	0,278
Pb	0,002	0,0007	207	0,003	0,0015
Hg	0,017	0,006	201	0,029	0,0145
Cu	0,014	0,005	64	0,078	0,039
As	0,015	0,006	75	0,080	0,120
Fe	0,006	0,002	56	0,036	0,036

por lo tanto mol O2 : 0,489

Según ecuación de los gases: $PV = nRT$

$$R = 0,08206 \text{ (atm lt}^\circ\text{K mol)}$$

$$P = 0,8 \text{ atm}$$

$$T = 15^\circ\text{C} = 288^\circ\text{K}$$

$$V = 14,45 \text{ lts.}$$

Para garantizar una buena oxidación de los elementos se usará un 40% de exceso de Oxígeno.

$$V = 20,23 \text{ lts. (adicionado en 30 minutos)}$$

D. CALCULO DE LA CARGA DE FUNDENTE

El cálculo de la carga de fundente se realiza basándose exclusivamente en el ternario $\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O}$. En este diagrama existe un punto eutéctico donde se encuentra la isoterma de 600°C como muestra la Fig D.1. En ese punto la escoria tendrá la siguiente composición porcentual.

SiO_2	:	45 %
B_2O_3	:	30 %
Na_2O	:	25 %

En este punto eutéctico la escoria tendrá el punto de fusión más bajo (600°C) y como la temperatura de trabajo es de 1100°C aproximadamente, entonces se tendrá una escoria bastante fluida teniendo como resultado una mejor separación entre las dos fases líquidas presentes (escoria y metal doré) disminuyendo con esto el atrapamiento de doré en la escoria. Para poder producir una escoria de estas características es necesario agregar solo la cantidad justa de fundente (borax y ceniza) de tal manera de no salirse del punto eutéctico. Para poder determinar cuanto fundente hay que agregar es necesario conocer las reacciones de descomposición del fundente y así poder determinar por medio de cálculos estequiométricos la cantidad de este. Para ello se parte conociendo la composición de la escoria y retrocediendo en el cálculo se llega a determinar el requerimiento de fundentes.

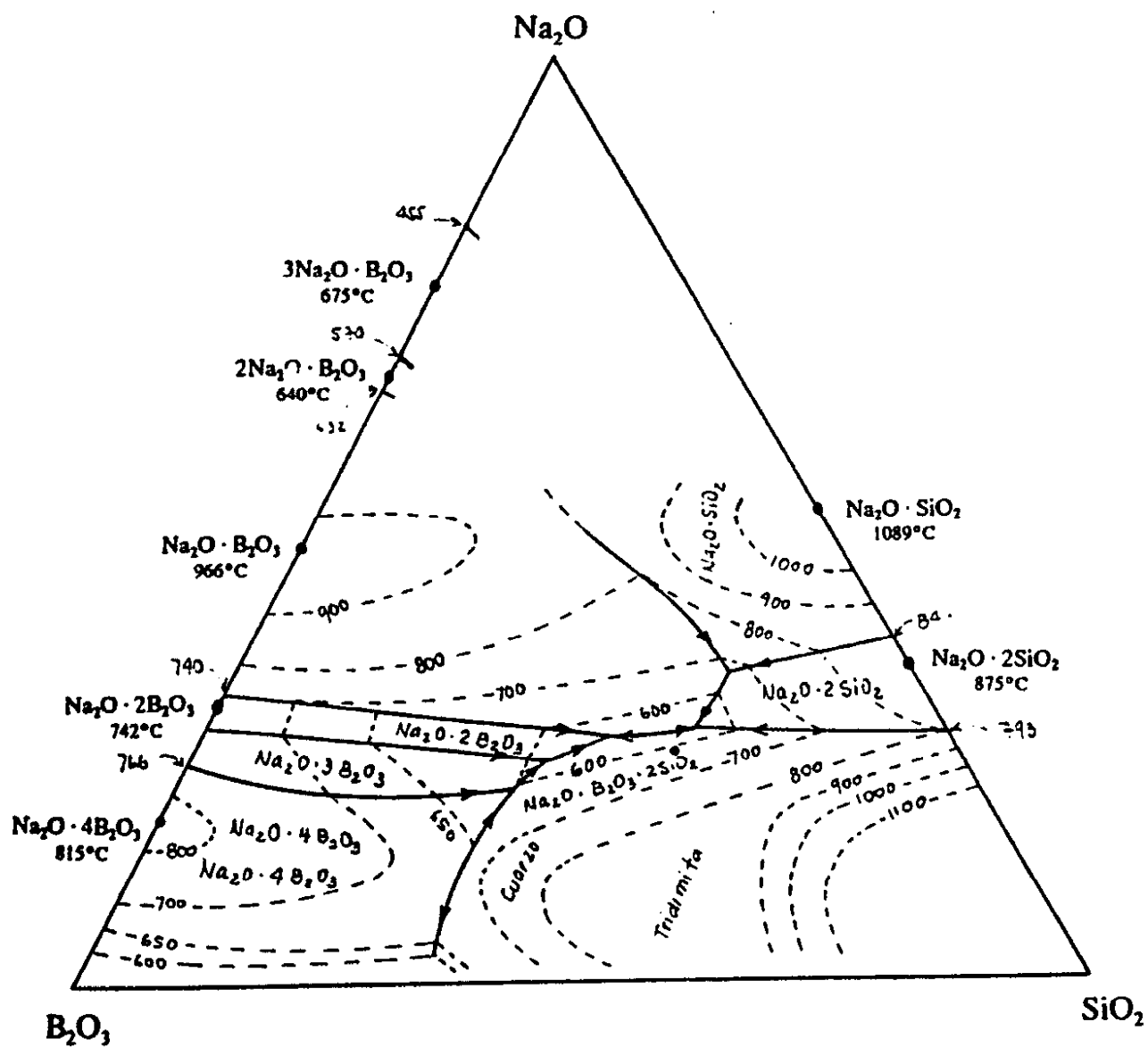


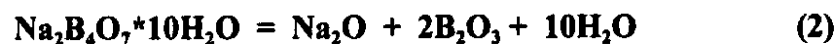
Fig D.1 DIAGRAMA TERNARIO SiO_2 - B_2O_3 - Na_2O

1 REACCIONES DE DESCONPOSICION DEL FUNDENTE

Ceniza de soda



Borax decahidratado



Como se ve en las dos reacciones los productos resultantes son Na_2O Y B_2O_3 , y para completar la escoria, se considera. La sílice que viene en el precipitado como diatomea.



Luego como se conoce la sílice de la escoria entonces podemos conocer el peso de la escoria y a su vez conocer el peso del óxido de sodio y óxido de boro.

2 CALCULO DE LA CARGA DE FUNDENTES

Para calcular la carga de fundente es necesario contar con los siguientes antecedente

2.1 Composición de la escoria requerida

SiO_2 : 45 %

B_2O_3 : 30 %

Na_2O : 25 %

2.2 Pesos moleculares de los compuestos

COMPUESTO	FORMULA	PESO MOLECULAR
BORAX DECAHIDRATADO	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381.3714
CENIZA DE SODA	Na_2CO_3	105.9890
SILICE	SiO_2	60.0848
OXIDO DE BORO	B_2O_3	69.6202
OXIDO DE SODIO	Na_2O	61.9790

2.3 Ley de Au, Ag, Hg, Zn, SiO₂ en el precipitado

El laboratorio químico entrega todas estas leyes por batch de tal manera de poder hacer los cálculos correspondientes.

2.4 Cálculo del peso del precipitado (kg)

$$\text{peso del precipitado} = \text{peso de la calcina} / (100 - \text{ley Hg ppdo}) * 100$$

2.5 Cálculo de la sílice (diatomea) en el precipitado

$$\text{peso de SiO}_2 \text{ en ppdo} = \text{peso ppdo} * \text{ley SiO}_2 \text{ en ppdo}$$

2.6 Peso de la sílice en la escoria (kg)

$$\text{peso de SiO}_2 \text{ en escoria} = \text{peso de SiO}_2 \text{ (precipitado)}$$

2.7 Peso de la escoria (kg)

Como se sabe la sílice es el 45 % de la escoria entonces:

$$\text{peso de escoria} = (\text{peso de SiO}_2 / 45) * 100$$

Como ya se conoce el peso de la escoria, entonces se puede conocer el peso de cada componente de esta (Na_2O Y B_2O_3).

2.8 Peso del Na_2O de la escoria (kg)

$$\text{peso del } \text{Na}_2\text{O} \text{ en escoria} = \text{peso de la escoria} * 0.25$$

2.9 Peso del B_2O_3 de la escoria (kg)

$$\text{peso del } \text{B}_2\text{O}_3 \text{ en escoria} = \text{peso de la escoria} * 0.30$$

2.10 Composición de la escoria (kg)

$$\text{peso } \text{SiO}_2 = \text{Calculado en el punto 2.7}$$

$$\text{peso } \text{Na}_2\text{O} = \text{Calculado en el punto 2.8}$$

$$\text{peso } \text{B}_2\text{O}_3 = \text{Calculado en el punto 2.9}$$

2.11 Cálculo del peso del borax decahidratado

De la reacción (2) se puede observar que todo el B_2O_3 presente en la escoria se debe a la descomposición del borax decahidratado. Luego, para determinar su peso será necesario hacer una relación estequiométrica en peso con el B_2O_3 .

$$\text{peso del borax} = (\text{P.M del borax} / \text{P.M del } \text{B}_2\text{O}_3) * \text{peso del } \text{B}_2\text{O}_3$$

2.12 Cálculo de la ceniza de soda (kg)

El Na_2O de la escoria proviene de dos partes:

- a.- De la descomposición de la ceniza de soda como se ve en la reacción 1.**
- b.- De la descomposición del borax decahidratado como se ve en la reacción 2.**

Para poder conocer el peso de la ceniza de soda, es necesario conocer primero cuanto Na_2O se forma a partir de la descomposición del borax, es decir:

$$\text{peso Na}_2\text{O (escoria)} = \text{peso Na}_2\text{O (ceniza)} + \text{peso Na}_2\text{O (borax)}$$

luego:

$$\text{peso Na}_2\text{O (borax)} = (\text{P.M Na}_2\text{O} / \text{P.M borax}) * \text{peso borax (calculado en 2.11)}$$

por lo tanto :

$$\text{peso Na}_2\text{O (ceniza)} = \text{peso Na}_2\text{O (escoria)} - \text{peso Na}_2\text{O (borax)}$$

Una vez conocido el peso del Na_2O generado por la ceniza, entonces podemos

calcular el peso de ésta por la relación estequiométrica de la siguiente manera :

$$\text{peso ceniza de soda} = (\text{P.M ceniza de soda} / \text{P.M del Na}_2\text{O}) * \text{peso Na}_2\text{O (ceniza)}$$

Luego, la composición final de la carga de fundente será:

Sílice : calculada en el punto 2.5

Borax decahidratado : calculado en el punto 2.11

Ceniza de soda : calculada en el punto 2.12