

800-1-810-1  
15-11-80 - 1  
2005



**FONDO NACIONAL DE  
DESARROLLO TECNOLÓGICO Y  
PRODUCTIVO  
FONTEC**

**INFORME TÉCNICO FINAL  
PROYECTO N° 203 – 3687**

**“Nuevas Tecnología Limpia para la  
Recuperación de Metales Nobles desde  
Escoria de Fusión”**

**FORJADOS S.A**

**18 MAYO 2005**



Santiago 15 de Mayo de 2005

**SEÑORES  
FONTEC - CORFO  
MONEDA 921 5° PISO  
SANTIAGO**

**AT. SR. CRISTIAN GONZALEZ**

De nuestra consideración:

Junto a la presente, enviamos a usted dos copias de Informe Final Técnico del proyecto N° 203 – 3687 Línea 1 “NUEVAS TECNOLOGÍA LIMPIA PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES NOBLES DESDE ESCORIAS DE FUSIÓN”

Sin otro particular, le saluda atentamente.



**Enrique Heine Salinas  
Director de Proyecto  
Forjados S.A.**



## INDICE

<b>1</b>	<b>Resumen Ejecutivo</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Exposición del Problema</b> .....	<b>6</b>
2.1	Problema a resolver .....	6
2.2	Objetivo del Proyecto.....	7
2.3	Oportunidad generada.....	7
2.4	Aspectos Claves del proceso-servicio desarrollado.....	8
<b>3</b>	<b>Metodología y Plan de Trabajo</b> .....	<b>9</b>
3.1	Metodología.....	9
3.1.1	Etapas 1 – Desarrollo de la Tecnologías en Laboratorio y a Nivel Banco .....	9
3.1.2	Etapas 2 Desarrollo De La Tecnología a Nivel Planta Piloto .....	12
3.1.2.1	Descripción de Planta Piloto .....	14
3.1.3	Etapas 3 - Ingeniería y Empaquetamiento De La Tecnología.....	20
3.2	Plan de trabajo .....	21
<b>4</b>	<b>Resultados Obtenidos</b> .....	<b>25</b>
4.1	PRUEBAS A ESCALA BANCO O DE LABORATORIO.....	25
4.1.1	Pruebas de Fusión – Reducción a escala banco.....	25
4.1.2	Pruebas de Decoperización y Desantimonización a escala banco.....	27
4.1.3	Pruebas de oxidación a escala banco.....	28
4.1.4	Pruebas de Decoperización y Desantimonización de muestras oxidadas a escala banco.....	32
4.1.5	Pruebas de Inertización de Escorias de Fusión a escala banco. ....	34
4.1.6	Pruebas de Inertización de Escorias de Oxidación a escala banco.....	35
4.2	PRUEBAS A ESCALA PILOTO .....	36
4.2.1	Pruebas de fusión - reducción a escala piloto.....	36
4.2.1.1	Modelación y escalamiento de los resultados.....	38
4.2.2	Pruebas de Oxidación a escala piloto. ....	42
4.2.2.1	Modelación y escalamiento de los resultados.....	46
4.2.3	Pruebas de electro obtención de plomo. ....	50
4.2.3.1	Modelación y escalamiento de los resultados.....	51
4.3	Proyección económica y diseño de una planta de recuperación de metales nobles. .	52
<b>5</b>	<b>Impactos del Proyecto</b> .....	<b>51</b>
5.1	Análisis de Mercado .....	51
5.2	Estrategia de Marketing.....	51
5.3	Empaquetamiento de la tecnología.....	52
5.3.1	Alianza Forjados S.A.-Fundación Chile.....	52
	<b>Apéndices</b> .....	<b>53</b>

## **1 RESUMEN EJECUTIVO**

La empresa Forjados S.A., en alianza con Fundación Chile han desarrollado un proceso de recuperación de metales nobles, oro, plata, platino, paladio, rodio y rutenio, contenidos en las escorias de fusión generadas en las plantas de metales nobles asociadas a las plantas de electrorefinación de cobre.

La empresa Forjados S.A. provee de partes y piezas para maquinarias de la gran minería del cobre. Es única en su tipo en Chile y ha desarrollado esta actividad por alrededor de 20 años en el país. También ha desarrollado y operado procesos hidrometalúrgicos de recuperación de metales nobles, oro y plata, contenidos en residuos de la minería del oro, actividad que desarrolló en Ecuador, en la década de lo 80. Para ello diseñó, construyó, instaló y operó durante cuatro años una planta de recuperación de metales nobles.

Dada la experiencia de Forjados S.A. en la recuperación de metales nobles vía hidrometalúrgica, y por otro lado la experiencia de Fundación Chile en el desarrollo de procesos pirometalúrgicos para recuperación de metales, se llevó a cabo el desarrollo de un proceso pirometalúrgico-electroquímico que permite la recuperación de metales nobles con una alta eficiencia y por otro lado permite obtener escorias inertizadas. En Chile, las plantas de metales nobles asociadas a las refineries de cobre generan residuos que contienen valores metálicos. Un ejemplo es la Planta de Metales Nobles de CODELCO-Ventanas, la que genera alrededor de 400 ton/año de escorias de fusión, las que han sido exportadas durante años, dado que no se cuenta con una tecnología que permita recuperar los metales nobles en Chile.

El proceso desarrollado por Forjados S.A. y Fundación Chile permite recuperar los metales nobles con una alta eficiencia, utilizando para ello solo tres operaciones, dos de ellas efectuadas en el mismo equipo, lo cual simplifica la operación de una planta industrial. La evaluación técnica y económica de la implementación industrial del proceso desarrollado, permite anticipar los beneficios del negocio y por otro lado competir con la oferta extranjera.

## **2 EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.1 PROBLEMA A RESOLVER**

Una de las vías de producción de cobre electrolítico es mediante la electro refinación de ánodos de cobre provenientes de las fundiciones de concentrado de sulfuros del metal rojo. El proceso de electro-refinación genera un residuo, barros anódicos, que contiene cantidades importantes de metales nobles; oro, plata, platino, paladio, rodio, etc., y otros elementos tales como selenio, telurio, arsénico, antimonio, plomo, etc.

Los barros anódicos son procesados en las denominadas Plantas de Metales Nobles, en las cuales, mediante una serie de procesos, se separan metales preciosos en forma pura, como también selenio, telurio y concentrado de platino y paladio. También se generan residuos sólidos como escorias de fusión, que contienen metales preciosos (oro, plata, platino y paladio) en leyes superiores a las de minas de estos metales en explotación actualmente, así como elementos contaminantes (plomo, antimonio, arsénico, selenio, telurio). Estos últimos elementos también son valorizables.

En Chile una empresa minera procesa los barros anódicos: CODELCO-Ventanas y CODELCO-Norte. Ventanas genera 400 ton/año de escorias de fusión, que contienen oro, plata, platino y paladio, con un valor de USD 2.620.000. Ventanas actualmente acopia las escorias o las exporta.

En la década pasada, CODELCO-Norte cerró gran parte de su planta de metales nobles, dado que no fue posible procesar los barros anódicos con una nueva tecnología y actualmente solo descobrizza los barros anódicos, que luego son exportados.

Tanto en la venta de escorias de fusión (Ventanas), como de barro anódico descobrizado (CODELCO-Norte), las empresas compradoras descuentan los costos de refinación y aplican cargos por elementos contaminantes tales como plomo, arsénico, antimonio, selenio y telurio.

Adicionalmente y en ambos casos, se exportan desde el país, por un lado materias primas que contienen elementos metálicos de alto valor en el mercado, y por otro, residuos peligrosos por sus contenidos de metales altamente tóxicos (plomo, arsénico, antimonio, selenio, telurio). A nivel mundial el transporte transfronterizo de residuos peligrosos está regulado por el Convenio de Basilea. Chile ha ratificado este convenio pero no es aplicable en el país mientras no exista una legislación respecto del tema. Actualmente la legislación se encuentra en estudio en la Contraloría General de la República, previéndose su aplicación en un futuro cercano.

## **2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO.**

El objetivo general del proyecto es desarrollar una tecnología de recuperación de metales nobles (oro, plata, platino y paladio) contenidos en residuos sólidos (escorias) generados por las empresas productoras de cobre que utilizan la electro-refinación como proceso productivo, y que disponen de plantas de metales nobles. El proceso desarrollado será ofrecido en la forma de un servicio de recuperación de metales nobles, con lo cual la empresa minera no se verá obligada a llevar a cabo inversiones productivas y de operación.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Desarrollar una tecnología de recuperación de metales nobles, especialmente oro, plata, platino y paladio, desde residuos sólidos (escorias) generados en plantas de refinado de metales nobles, mediante procesos de baja carga contaminante.
2. Recuperar sub-productos (cobre, plomo, antimonio y arsénico), en forma pura o contenidos en un concentrado e inertizar el residuo no valorizable.
3. Desarrollar la oferta para el mercado nacional e internacional de servicios de recuperación de metales preciosos a partir de residuos mineros, con el consiguiente cargo por tonelada de material procesado o un porcentaje de los valores recuperados.

## **2.3 OPORTUNIDAD GENERADA**

Forjados S.A. y Fundación Chile han desarrollado a nivel experimental y conceptual la tecnología de recuperación de metales preciosos y comunes a partir de las escorias de fusión de plantas de metales nobles. Parte de la tecnología ya ha sido desarrollada y probada a nivel banco por la empresa FORJADOS S.A. e Intec y los resultados preliminares son auspiciosos. La misma tecnología podría ser aplicada en CODELCO, si esta empresa pone en funcionamiento nuevamente su planta de metales nobles, o si ENAMI-Ventanas trata en el futuro los barras anódicos producidos por la división Chuquicamata de CODELCO. Esta tecnología, proceso y servicio, también puede ser ofrecido a empresas mineras en Perú.

La disponibilidad de una tecnología de recuperación de metales preciosos permitirá a Fundación Chile y Forjados S.A. ofrecer tanto en Chile como en el extranjero, los servicios de recuperación de metales preciosos, con el consiguiente cargo por tonelada de material procesado o cargo de parte de los metales nobles recuperados.

## 2.4 ASPECTOS CLAVES DEL PROCESO-SERVICIO DESARROLLADO

Los aspectos claves del proceso-servicio desarrollado son:

Aspecto clave	Justificación
1. La eficiencia de recuperación de metales preciosos a partir de los residuos es superior al 98 %	Dado el alto valor de los metales preciosos contenidos en materiales secundarios, internacionalmente se considera que la recuperación de metales preciosos debe ser de 98 % o el residuo debe ser sometido nuevamente a proceso, encareciendo la recuperación. Las tecnologías a ser aplicadas en este tipo de plantas deben asegurar una recuperabilidad del 98 % para que estas sean adoptadas.
2. La eficiencia de recuperación de metales no preciosos es superior al 95%	Los metales y no metales contaminantes antimonio, plomo, telurio y cobre pueden ser comercializados si se purifican. Por otro lado se disminuye la carga contaminante en el residuo que debe ser inertizado.
3. La tecnología desarrollada es de baja carga contaminante, minimizando los residuos generados y éstos son tratables para una disposición segura.	El mercado actualmente exige tecnologías de bajo impacto ambiental que faciliten el cumplimiento de legislación y normativas técnicas, medioambientales y de prevención de riesgos cada vez más estrictas
4. El servicio ofrecido es ventajoso económica y ambientalmente para los clientes potenciales nacionales e internacionales.	Ha de ser económicamente viable para la empresa proveedora de los residuos, esto es, ofrecer eficiencias de recuperación similares o superiores a las actuales (98 %), minimizando el impacto ambiental de los residuos y mejorando su actual manejo, es decir, facilitando el cumplimiento de normativa nacional e internacional.

### 3 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

#### 3.1 METODOLOGÍA

Para la recuperación de los metales nobles contenidos en la escorias de fusión se realizó una metodología via pirometalúrgica, hasta obtener un concentrado. La metodología aplicada se desarrolló en una serie de etapas y actividades, las que se describen a continuación:

##### 3.1.1 ETAPA 1 – DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍAS EN LABORATORIO Y A NIVEL BANCO

###### *ACTIVIDAD 1.1 RECOPIACIÓN DE DATOS NECESARIOS PARA AJUSTAR EL DISEÑO EXPERIMENTAL Y PREPARACIÓN DE LAS PRUEBAS NIVEL BANCO*

En esta etapa se actualizó la información bibliográfica con la que se contaba y los datos obtenidos en pruebas preliminares a nivel de laboratorio, verificando las condiciones experimentales, Se seleccionaron las variables relevantes necesarias para la preparación y desarrollo del diseño experimental, escalando las tecnologías desde nivel laboratorio a nivel de banco. De esta forma se determinaron los niveles óptimos para maximizar los resultados.

###### *ACTIVIDAD 1.2 REALIZACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES A NIVEL BANCO*

Durante esta actividad se llevo a cabo una verificación de cada una de las variables y los parámetros que resultan relevantes para definir las condiciones experimentales. Para esto se realizaron una serie de pruebas, analizando al término de cada una de ellas los análisis fisicoquímicos de pureza del concentrado. Las metodología desarrollada en cada una de ellas se describe a continuación:

- a) *Pruebas de Fusión-Reducción:* En estas pruebas se adicionó el reductor (adecuado) carbón, llevando a estado elemental los metales presentes en la escoria de fusión (Figura 3.1).. Se realizaron una serie de pruebas repitiendo las mejores cinco donde se varió la cantidad de carbón y el tiempo de fusión, tal como lo muestra la Tabla 3.1

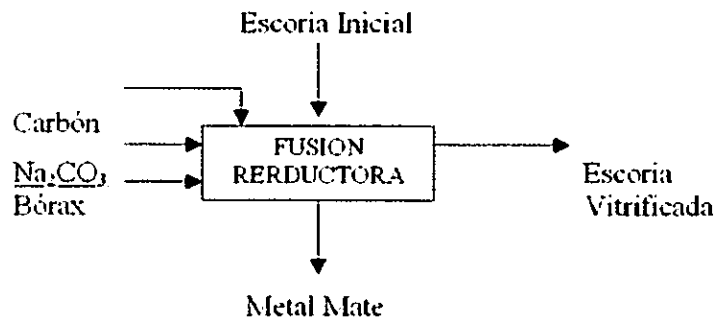


Figura 3.1 - Diagrama para el proceso de Fusión-Reductora

Tabla 3.1 – Variables pruebas de fusión y reducción

Prueba	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Borax	Carbón	Tiempo	Temperatura
1	15	5	4	30	950
2	15	5	6	30	950
3	15	5	6	45	950
4	15	5	5	30	950
5	15	5	5	90	950
6	15	5	7	90	950

En esta etapa se generaron dos fases, una de mayor densidad, *metal mate*, con un elevado contenido de plomo y antimonio en el cual se encuentran contenido los metales preciosos; y una fase de menor densidad, *vitrificado*.

Para determinar la eficiencia se realizó un balance de masa, ya que las concentraciones iniciales en cada prueba son distintas, además es necesario tomar en cuenta que los metales nobles no se liberan como óxidos volátiles. Por lo tanto, se consideró como masa inicial la sumatoria de las cantidades de metales nobles presentes tanto en la escoria como en el metal mate.

**b) Pruebas de Decoperización y Desantimonización:** En estas pruebas se pretendió eliminar cobre y antimonio, del metal mate obtenido en la prueba anterior, como espumas de sulfuros de cobre y antimonio, mediante la adición de un sulfuro metálico. En estas pruebas se adicionó Sulfuro de Plomo. (PbS).

En la figura 3.2 se muestra el diagrama general del proceso de decoperización y desantimonización llevado a cabo a nivel banco

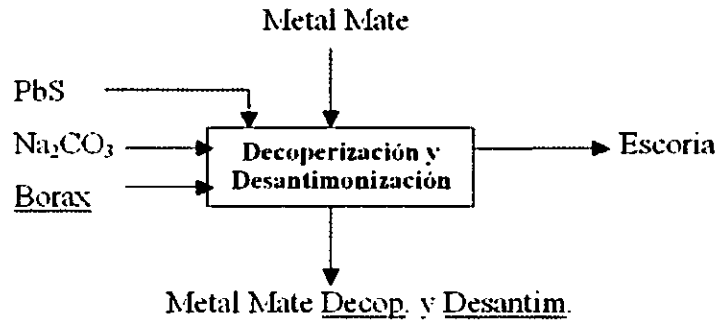


Figura 3.2 - Diagrama del proceso de Decoperizado-Desantimonizado

Esta etapa fue eliminada del proceso, propuesto originalmente, dado que no se encontró una fuente barata de sulfuro de plomo, con el fin de hacer el proceso rentable.

c) *Pruebas de oxidación:* En estas pruebas se removió los óxidos de As, Sb, Se, Te y todos aquellos elementos volátiles, mediante la oxidación con aire enriquecido con oxígeno al metal mate obtenido en la prueba de Fusión y reducción. Las condiciones consideradas en esta prueba fueron: **la temperatura de la mezcla fundida** que fue de 600 °C y el **oxígeno**, realizando pruebas con 4 flujos distintos 150, 300, 450 y 600 Litros, los que se inyecta mediante lanza refractaria.

Al inyectar el oxígeno la mezcla pueda alcanzar los 1000°C. De esta forma los metales preciosos son retenidos por el plomo, formando una escoria en la superficie donde queda una mezcla de óxidos. El diagrama general del proceso de fusión oxidativa esta descrito en la figura 3.3.

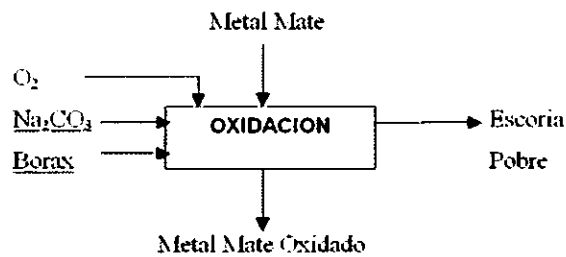


Figura 3.3 – Diagrama proceso de oxidación

**d) Pruebas de Obtención de concentrado de metales nobles mediante electro obtención**

El metal mate oxidado fue moldeado en forma de ánodos, los que fueron sometidos a electro refinación de plomo. Las condiciones de operación

**e) Pruebas de de inertización de escorias de fusión:** En estas pruebas se determinará el grado de inertización que poseen las escorias obtenidas en las pruebas de fusión reductiva. Se llevó a cabo ensayos de lixiviación por TCLP (Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad) de acuerdo a lo establecido en el Standard Methods (método 1311). Posteriormente se realizaron análisis a los potenciales contaminantes, principalmente compuestos inorgánicos tales como: As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se.

**f) Pruebas de de inertización escorias de oxidación:** Al igual que en las dos pruebas anteriores, se determinará el grado de inertización que poseen las escorias obtenidas en las pruebas de oxidación. Se llevó a cabo ensayos de lixiviación por TCLP (Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad) de acuerdo a lo establecido en el Standard Methods (método 1311). Posteriormente se realizaron análisis a los potenciales contaminantes, principalmente compuestos inorgánicos tales como: As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se.

### **3.1.2 ETAPA 2 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA A NIVEL PLANTA PILOTO**

#### *ACTIVIDAD 2.1 DISEÑO E INSTALACIÓN DE PLANTA PILOTO*

A partir de los datos obtenidos a nivel banco se realizó el diseño experimental de las pruebas a nivel piloto. Se identificaron los equipos necesarios y sus especificaciones de tal forma de diseñar, construir y montar aquellos que eran necesarios (Molino de rodillos, molino de martillos, ciclón captador de polvos, filtro de mangas, horno Morgan fijo, horno Morgan basculante, lavador de gases y polvos, sistema de extracción de gases y planta piloto de electro obtención), realizándose pruebas de marcha blanca. Una etapa preliminar a esta actividad fue la construcción de un galpón de 150 m<sup>2</sup>, lugar donde se instalaron los equipos.

## *ACTIVIDAD 2.2 REALIZACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES A ESCALA PILOTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.*

Se desarrollaron experiencias a nivel piloto a fin de validar los resultados desarrollados a nivel banco, se analizó el comportamiento de las variables y los parámetros operacionales optimizando el proceso, esto permitirá, posteriormente, escalar las tecnologías a nivel industrial para obtener el máximo rendimiento de la producción. Las pruebas realizadas a nivel piloto se describen a continuación.

- a) *Pruebas de fusión-reducción:* Con el propósito de obtener metal mate para las posteriores pruebas de oxidación y electro refinación, se realizaron más de 20 pruebas de fusión reductora considerando los mismos aspectos descritos en la etapa de laboratorio. Las condiciones y detalles de estas pruebas se encuentran en los Apéndices. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un seguimiento estadístico del balance de masas, planteando balances de masas con las respectivas desviaciones de flujo y composición variabilidad
- b) *Pruebas de oxidación:* Se realizaron una serie de pruebas en condiciones determinadas en las pruebas a nivel banco, los detalles de estas se describen en la sección de apéndices. Para el análisis de los resultados se consideró como respuestas al “efecto oxidación” las siguientes variables: porcentaje de recuperación promedio de todos los metales preciosos: porcentaje de abatimiento promedio de todos los contaminantes contenidos en la muestra, concentración media de contaminantes en el Metal Mate.
- c) *Pruebas de Obtención de Plomo electrolítico (reemplaza a extracción-destilación):* Al igual que en las pruebas de laboratorio, en el piloto se utilizó una solución rica en plomo, produciendo una reducción del metal en el cátodo, con el consiguiente sacrificio del ánodo. Se obtuvo plomo catódico. El barro anódico que se generó, contiene los metales nobles recuperados durante todo el proceso.
- d) *Pruebas de de inertización de escorias de fusión:* En estas pruebas, al igual que en el laboratorio, se determinó el grado de inertización que poseen las escorias obtenidas en las pruebas de fusión reductiva. Se llevó a cabo ensayos de lixiviación por TCLP (Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad) de acuerdo a lo establecido en el Standard Methods (método 1311). Posteriormente se realizarán análisis a los potenciales contaminantes, principalmente compuestos inorgánicos tales como: As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se.
- e) *Pruebas de de inertización escorias de oxidación:* En estas pruebas, al igual que en el laboratorio, se determinó el grado de inertización que poseen las escorias obtenidas en las pruebas de oxidación. Se llevará a cabo ensayos de lixiviación por TCLP (Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad) de acuerdo a lo establecido en el Standard Methods (método 1311). Posteriormente se realizarán análisis a los potenciales contaminantes, principalmente compuestos inorgánicos tales como: As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se.

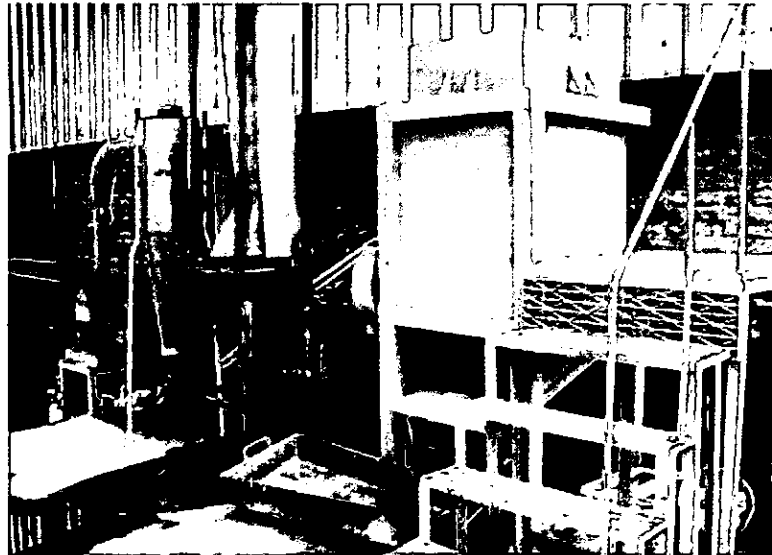
### **3.1.2.1** *DESCRIPCIÓN DE PLANTA PILOTO*

La planta piloto diseñada e instalada en el galpón construido por Forjados S.A. consta de los siguientes equipos:

- Molino de Rodillos
- Molino de martillos
- Ciclón
- Filtro de mangas
- Horno Morgan fijo
- Horno Morgan basculante
- Campana de extracción de gases
- Lavador de gases de relleno
- Extractor de gases
- Planta piloto de electro refinación

### **DETALLES DE EQUIPOS Y SU UTILIZACIÓN EN EL PROCESO**

La escoria generada en Ventanas es sometida a chancado en el origen, por lo que está constituida por un material de tamaño 1 a 2 pulgadas. Este material debe ser disminuido en su tamaño, por lo que es sometido en una primera etapa a un chancado en el molino de rodillos que se muestra en la siguiente fotografía. 1



**Fotografía 1**

El molino de martillos, a la derecha de la fotografía, está conformado por dos rodillos que giran en sentido contrario, con lo cual trituran el material a ser conminuido. Los rodillos están impulsados por un motor de 380 volts, 3 fases y 15 HP de potencia.

Una vez que el material es conminuido a un tamaño menor al original, este se muele a un tamaño menor a 3 milímetros, para lo cual se utiliza un molino de martillos fijos, el que se muestra en la siguiente fotografía. 2



**Fotografía 2**

El molino de martillos tiene como componente principal un cilindro que gira a gran velocidad y que golpea el material a conminuir contra una superficie rugosa. Si el material tiene el tamaño adecuado, sale del sistema a través de un tamiz instalado en el molino. El molino de martillo de la fotografía está equipado con un motor de 5 HP de potencia, 380 volts y tres fases.



**Fotografía 3**

El material fino generado por el molino de martillos es succionado por un ventilador y lanzado a travéz del ciclón que se muestra en la fotografia 3. Por acción de la fuerza centrífuga, el polvo mas grueso es separado de la corriente de aire y recuperado en la parte inferior del ciclón. El polvo mas fino escapa junto al aire por la parte superior del ciclón y luego es conducido a un filtro de mangas, donde es retenido el polvo fino.

El material conminuido y los polvos recuperados en el ciclón y filtro de mangas, son sometidos a fusión y posteriormente a oxidación en el Horno Morgan Basculante que se muestra en la siguiente fotografia.4



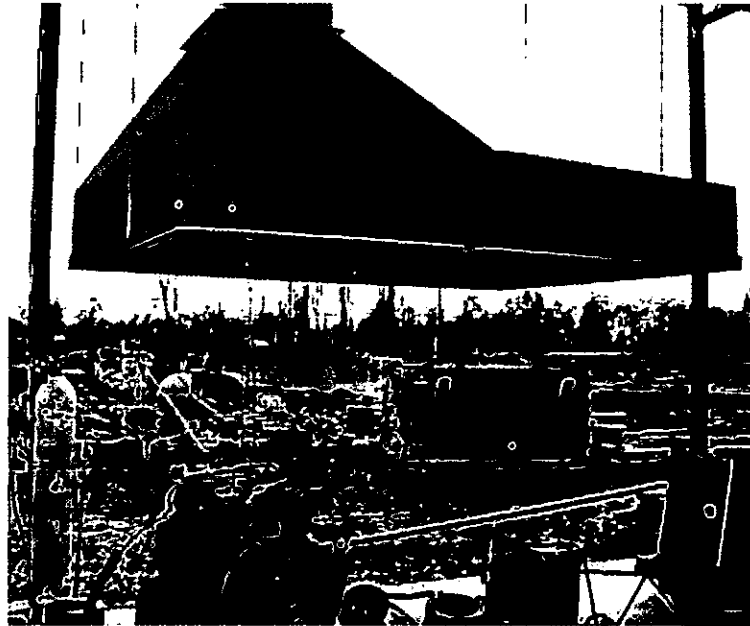
**Fotografía 4**

El Horno Morgan basculante consta de un receptáculo de material refractario, dentro del cual se instala un crisol en el cual se dispone el material a fundir. Mediante un quemador a gas, alimentado con aire forzado inyectado por un ventilador centrífugo, se alcanza la temperatura de operación. En la fotografía 5 se aprecia el horno en operación.



**Fotografía 5**

Los gases generados por la fusión son captados por una campana de extracción la que se muestra en la fotografía 6.



**Fotografía 6**

Los gases y polvos captados por la campana son tratados en un lavador de gases de relleno, con lo cual se evita la contaminación del entorno. La fotografía 7 muestra el sistema de lavado de gases.



En la fotografía 7 se muestra el Horno de Fusión Morgan basculante, la campana de extracción, el lavador de gases de relleno y el sistema de extracción que impulsa los gases a través del sistema de purificación.

### **3.1.3 ETAPA 3 - INGENIERÍA Y EMPAQUETAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA**

#### *ACTIVIDAD 3.1 DESARROLLO DE LA INGENIERÍA PARA PLANTA A ESCALA INDUSTRIAL Y EVALUACIÓN ECONÓMICA:*

- a) *Diseño de Equipos a escala industrial:* En base a los datos obtenidos en el piloto se realizó el diseño industrial. Se desarrollaron la ingeniería básica y conceptual, elaborando los diagramas de flujo y el dimensionamiento e identificación de equipos, en conjunto con el balance de masa de todo el proceso involucrado para la recuperación de metales nobles e inertización de escorias.
- b) *Evaluación económica:* Se determinó todos los costos de equipos y sistemas necesarios para llevar la recuperación de metales nobles e inertización de escorias a gran escala, determinando personal necesario, insumos, costos de operación directos e indirectos, depreciación, costos de mantención costos de accesorios, remuneraciones, gasto operación y de inversión. El control de los costos nos permitirá determinar tanto el precio de venta como la utilidad que deseamos obtener.

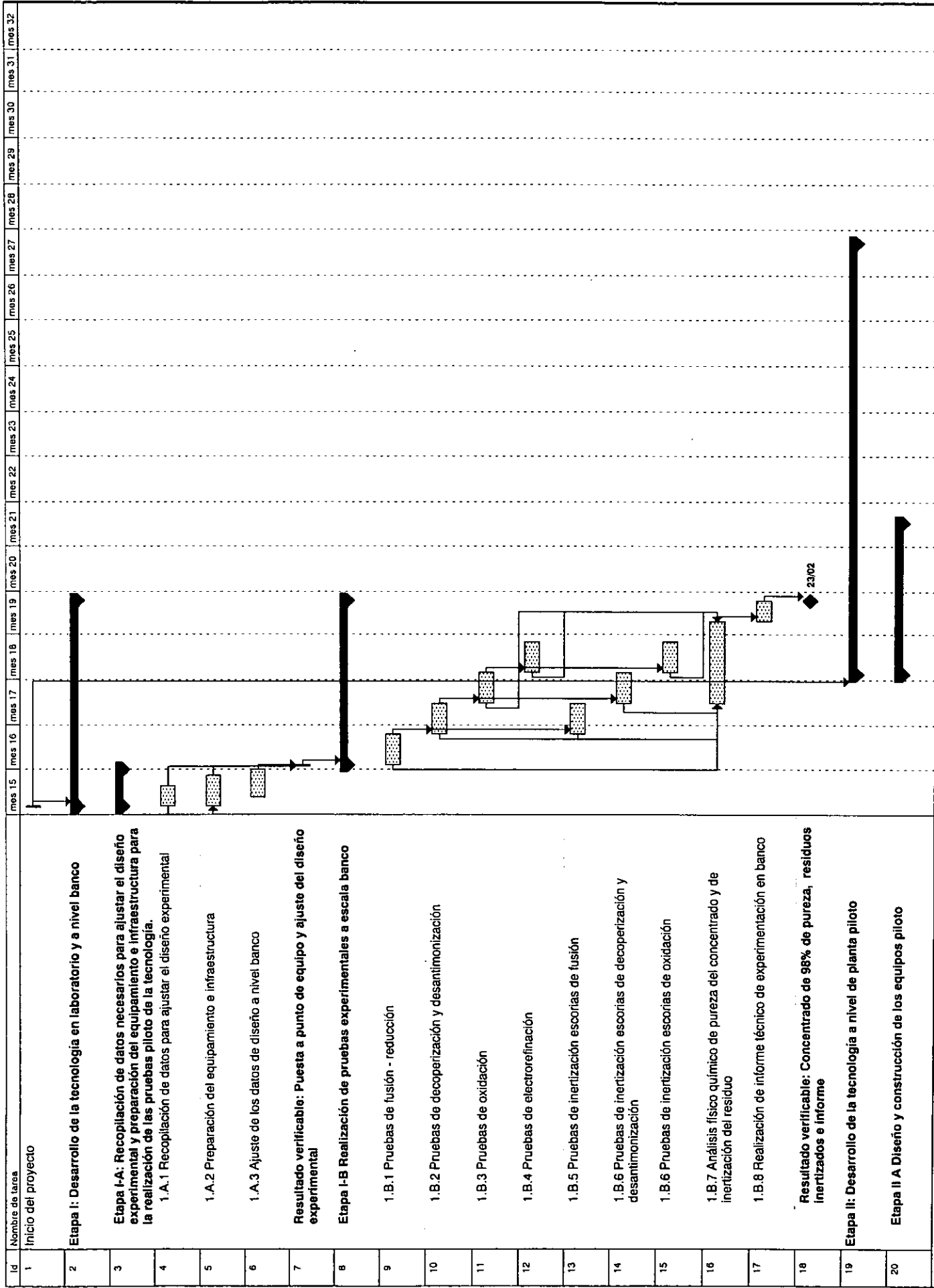
#### *ACTIVIDAD 3.2 PREPARACIÓN DE LA COMERCIALIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA:*

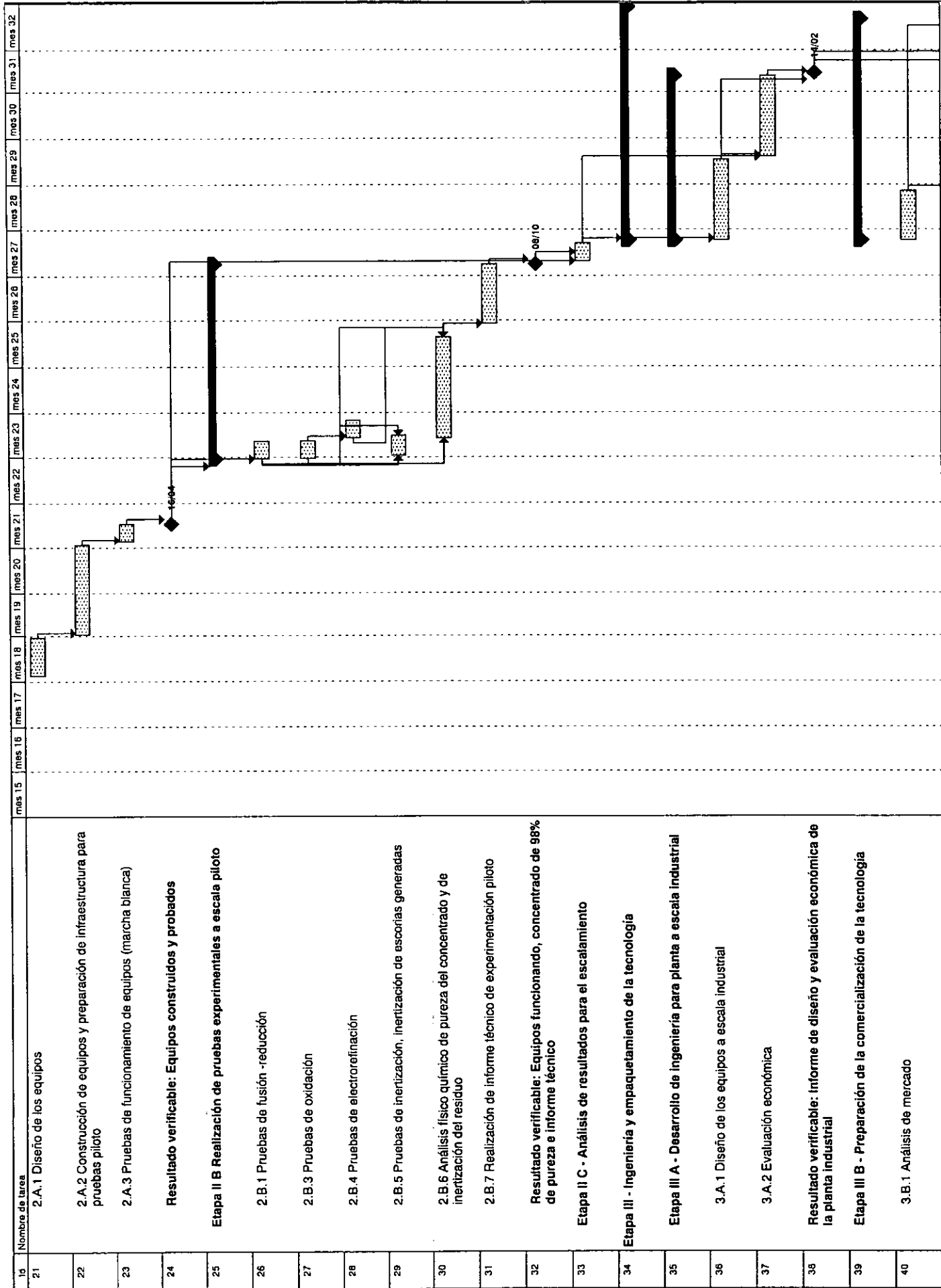
En esta actividad se desarrolló un análisis de mercado, un plan de negocios, una estrategia de marketing y el empaquetamiento de la tecnología.

- a) *Análisis de mercado:* Se identificó las variables que permitirán definir los segmentos de mercado, determinando el perfil y evaluando el atractivo que representa, para cada una de ellos, la tecnología. Esta información permitió seleccionar el mercado objetivo (uno o mas de los segmentos, al cual irá dirigido el plan de negocios), se tendrá una mejor identificación de las oportunidades y una optimización en la asignación de recursos, además de permitir el perfeccionamiento de una campaña de marketing lo que permite un mejorado posicionamiento de la tecnología de Recuperación de metales nobles en el mercado objetivo.
- b) *Plan de negocios:* A través de esta actividad se prepararán los antecedentes para la fase industrial y la evaluación de inversiones para el escalamiento productivo. Se consideraron una serie de puntos como: Requerimientos de patentamiento - Otros productos y servicios asociados pueden comercializarse - Atractivos tecnológicos y económicos – Diferencias de la tecnología en el mercado - Tiempo de comercialización disponible - Posibilidades de mercado y sus proyecciones, entre otros.
- c) *Estrategia de marketing:* Se desarrolló un programa de difusión de la tecnología para facilitar la penetración de ésta al mercado. Se dará a conocer el sistema de recuperación de metales nobles e inertización de escorias al cliente potencial, explicando las ventajas y mostrando la cobertura de las necesidades requeridas por este.

### **3.2 PLAN DE TRABAJO**

El plan de trabajo ejecutado en el desarrollo del proyecto, se muestra en la siguiente carta gantt.





Id	Nombre de tarea	mes 15	mes 16	mes 17	mes 18	mes 19	mes 20	mes 21	mes 22	mes 23	mes 24	mes 25	mes 26	mes 27	mes 28	mes 29	mes 30	mes 31	mes 32	
41	3.B.2 Plan de negocios																			
42	3.B.3 Estrategia de marketing																			
43	3.B.4 Empaquetamiento de la tecnología																			
44	<b>Resultado verificable: Plan de negocios y plan de marketing preparados</b>																			
45	Informe final: Análisis y presentación de resultados de la tecnología desarrollada y de su comercialización potencial																			
46	<b>Informe final: Entrega</b>																			

## 4 RESULTADOS OBTENIDOS

### 4.1 PRUEBAS A ESCALA BANCO O DE LABORATORIO

#### 4.1.1 PRUEBAS DE FUSIÓN – REDUCCIÓN A ESCALA BANCO.

Se presenta en la tabla 3.1.1, el resumen las pruebas de Fusión – Reducción realizadas con el objetivo de encontrar las condiciones óptimas para la recuperación de metales preciosos. Las principales variables involucradas son: tiempo de fusión y porcentaje de carbón añadido a la muestra inicial.

El diagrama de flujo general para estas pruebas, se muestra en la figura 3.1.1.

Figura 3.1.1- Diagrama establecido para las pruebas de fusión – reducción.

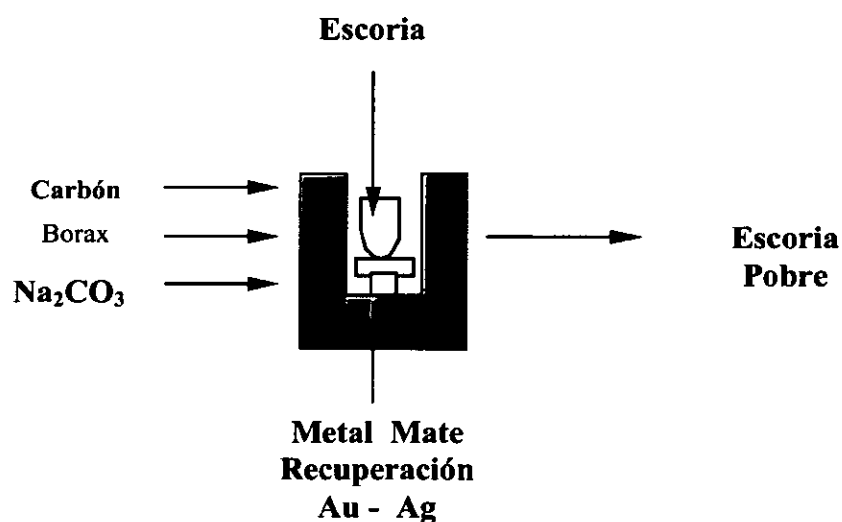


Tabla 3.1.1- Porcentaje de recuperación de Oro (Au) y Plata (Ag), en función del tiempo de fusión y porcentaje de carbón añadido a la muestra inicial.

Tiempo Fusión (min)	Carbón (%)	Recuperación Au (%)	Recuperación Ag (%)	Rótulo Muestra
30	3	60,03	5,6	MMMF1
30	5	90,13	35,26	MMMF3
30	6	97,12	70,26	MMMF2
90	5	95,33	80,6	MMMF5
90	7	97,12	93,76	MMMF6

Los “efectos” de las variables tiempo de fusión y porcentaje de carbono sobre la recuperación de Oro están resumidos en la figura 3.1.1. Se aprecia que la recuperación óptima de Oro (97 %) ocurre en 90 minutos de tiempo de fusión y 7 % de adición de carbón. Esta recuperación es igual a la informada para 30 minutos de tiempo de fusión y 6 % de adición de carbón. Sin embargo, al trabajar en el rango de 30 minutos de tiempo de fusión, existe la formación de una tercera fase con características de escoria, lo que reduce considerablemente la eficiencia del proceso.

En cuanto a la recuperación de plata, los efectos de el tiempo de fusión y el porcentaje de adición de carbón, se resumen en la figura 3.1.2. Para un tiempo de fusión de 30 minutos, y adición de carbón desde 3 % a 6 %, existe una variación lineal de la recuperación de plata, alcanzando un máximo de 70%.

Para 90 minutos de tiempo de fusión, es posible alcanzar recuperaciones cercanas al 95 %. Sin embargo, como ha mencionado anteriormente , al trabajar con tiempo de fusión de 30 minutos, existe formación de tres fases diferentes, siendo la tercera fase similar a la fase de escoria pero con un alto contenido de metales preciosos. Este fenómeno no es recomendable para un futuro escalamiento a nivel industrial, debido a los costos asociados a procesar tres fases diferentes y la pérdida de metales preciosos distribuidos en las dos fases de escoria.

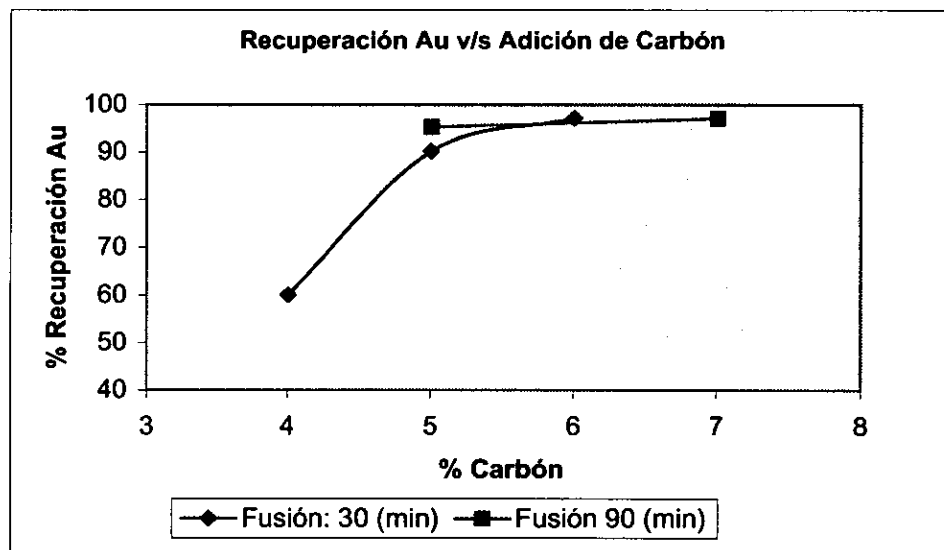


Figura 3.1.2.-Efectos de las variables tiempo de fusión y porcentaje de carbón sobre la recuperación de Oro

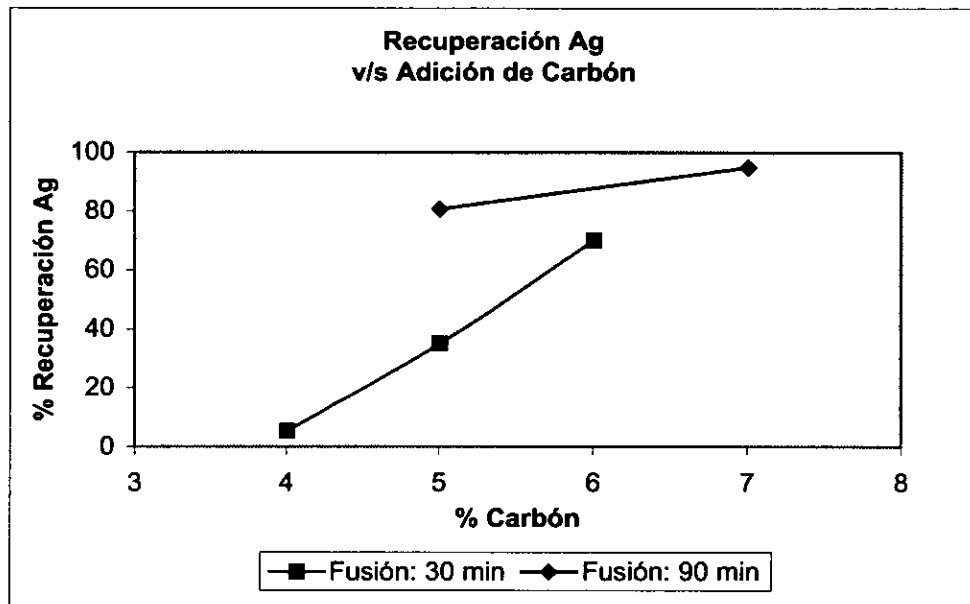


Figura 3.1.3.-Efectos de las variables tiempo de fusión y porcentaje de carbón sobre la recuperación de Plata.

#### 4.1.2 PRUEBAS DE DECOOPERIZACIÓN Y DESANTIMONIZACIÓN A ESCALA BANCO.

Se presentan en la tabla 3.2.1 los resultados obtenidos con la prueba de decoperización y desantimonización, llevadas a cabo mediante la adición de sulfuro de plomo.

El diagrama de flujo general del proceso se muestra e la figura 3.2.1.

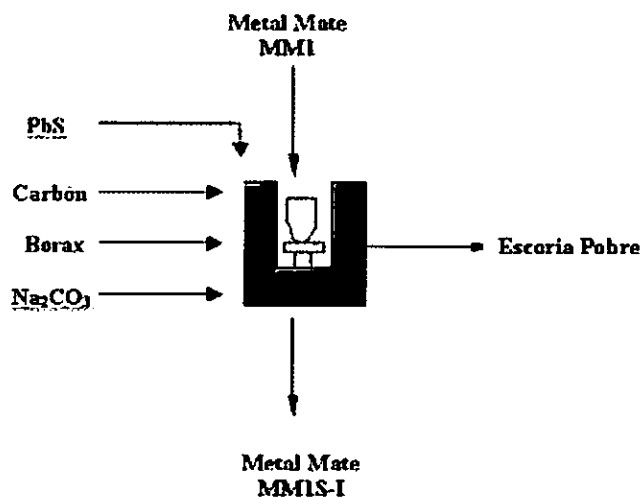


Figura 3.2.1.- Diagrama proceso decoperización – desantimonización

Las condiciones operacionales para la prueba, se resumen en la tabla 3.2.1.

Tabla 3.2.1.- Condiciones operacionales para la prueba de decoperización y desantimonización.

Rotulo	Tiempo (min.)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g)	Bórax (g)	Razón Cu/S	PbS (g)
MM1S	35	132.3	37.5	1	280.2

Los resultados obtenidos con la adición de sulfuro de plomo, se muestran en la tabla 3.2.1.

Tabla 3.2.1.- Resultados de la muestra MM1S

Metales	MM1S-I (g)	Escoria (g)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM1S-I (g)	Escoria (g)	Abatimiento (%)
Au	1.3813	0,0673	95.35	Se	0,3369	1.3318	80.95
Ag	90.5319	11,7231	88.53	Te	0,0337	26.9520	99.88
Pt	0.0295	0,0008	96.98	Cu	59,3628	95.006	61.50
Pd	0.0257	0.00	100	As	53,3987	5.3903	9.17
Rh	0.0018	0,0013	58.06	Sb	368,9638	53.903	10.31
Ru	0.0037	0,0012	79.66				

Como es posible observar los abatimientos de cobre y antimonio se sitúan bajo 7 % y 11 % respectivamente. Sin embargo, los abatimientos de Selenio y Teluro son bastante elevados: 80.95 % y 99.88 % cada uno. Debido a la baja eliminación de contaminantes se ha sugerido aplicar un proceso de oxidación previo al proceso de decoperización y desantimonización.

#### 4.1.3 PRUEBAS DE OXIDACIÓN A ESCALA BANCO.

La finalidad de esta etapa es comparar la remoción de los óxidos de As, Sb, Se, Te, en función de la cantidad de oxígeno entregada al metal mate. La temperatura de la mezcla fundida se vio elevada por sobre los 1000°C. El diagrama del proceso se describe en la figura 3.3.1.

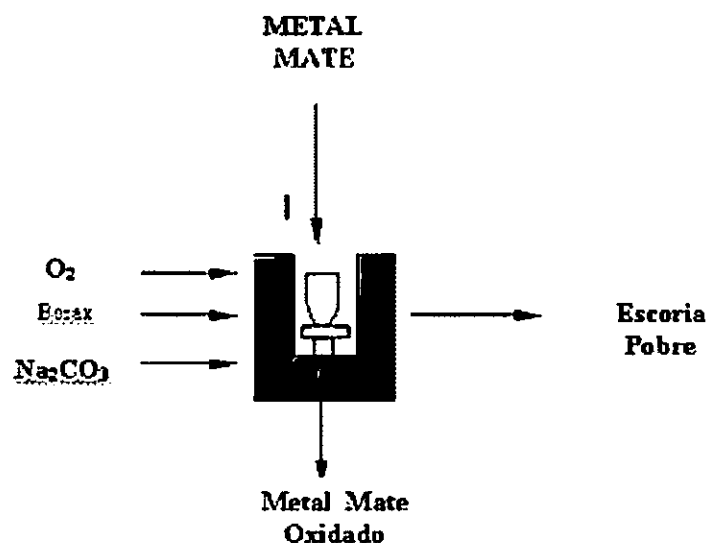


Figura 3.3.1- Diagrama establecido para las pruebas de Oxidación

En la tabla 3.3.1 se aprecian los resultados obtenidos al oxidar el metal mate durante 15 minutos a un caudal de (10L/min).

Tabla 3.3.1.- Resultados de la oxidación de metal mate con 150 (L) de Oxígeno.

Metales	MM10-I (g)	Escoria (g)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM10-I (g)	Escoria (g)	Abatimiento (%)
Au	1,3863	0,0106	99,23	Se	0,1507	0,5635	79.0
Ag	101,6303	0,6833	99,33	Te	0,9031	5,8731	87.0
Pt	0,0235	0,0003	98,37	Cu	58,1663	2,9359	5.56
Pd	0,0236	0,0000	100,00	Pb	880,0296	6,0329	0.69
Rh	0,0015	0,0001	93,33	As	31,7311	1,9228	21.83
Ru	0,0110	0,0000	100,00	Sb	313,0961	3,6570	11.7

De la tabla 3.3.1 es posible apreciar que la recuperación de metales preciosos es superior al 98 %, excepto en el caso del Rodio cuya recuperación es de 93,33%. En cuanto a la eliminación de contaminantes el Selenio, Teluro y Arsénico muestran los mayores porcentajes de abatimiento con un 79 %, 87 % y 21 % respectivamente.

Con la finalidad de comparar el porcentaje de recuperación y eliminación para distintas condiciones de oxidación, se efectuó una segunda prueba adicionando 300 L de oxígeno al metal mate. Los resultados de esta oxidación se exhiben en la tabla 3.3.2.

Tabla 3.3.2.- Resultados de la oxidación de metal mate con 300 (L) de Oxígeno.

Metales	MM1S-I (g)	Escoria (g)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM1S-I (g)	Escoria (g)	Abatimiento (%)
Au	0,6383	0,0053	99,17	Se	0,1228	1,3960	91.91
Ag	67,3133	0,2397	99,63	Te	0,3910	0,7902	61.68
Pt	0,0063	0,0003	95,31	Cu	92,1853	0,2897	0.31
Pd	0,0116	0,0001	99,13	Pb	60,1375	1,0009	1.63
Rh	0,0010	0,0003	76,90	As	12,7660	2,6603	90.82
Ru	0,0090	0	100,00	Sb	380,8932	2,3706	18.22

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 3.3.2 es posible apreciar que la recuperación de metales preciosos se sitúa sobre el 95 %, excepto en el caso del Rodio cuya recuperación se eleva solamente hasta 77 %. En cuanto a la eliminación de contaminantes el Selenio, Teluro y Arsénico muestran eliminaciones de 91,91 %, 61,68 % y 90,82 %.

Los resultados para la adición de 350 L de oxígeno se muestran en la tabla 3.3.3.

Como es posible apreciar, la recuperación media de los metales Oro, Plata y Platino es cercana al 95 %. Para Paladio y Rodio la recuperación fue de 100%.

Tabla 3.3.3.- Resultados de la oxidación de metal mate con 350 (L) de Oxígeno.

Metales	MM1S-I (g)	Escoria (g)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM1S-I (g)	Escoria (g)	Abatimiento (%)
Au	0,5003	0,0233	95,35	Se	0,1753	1,0078	85,18
Ag	36,1013	2,5275	93,36	Te	0,0000	1,6095	100,00
Pt	0,0068	0,0003	93,33	Cu	36,3763	6,0900	13,31
Pd	0,0032	0,0000	100,00	Pb	291,2260	110,9250	27,58
Rh	0,0013	0,0000	100,00	As	23,3760	3,2625	60,55
Ru	0,0000	0,0001	0,00	Sb	130,2560	7,6125	66,29

Los resultados de la adición de 600 (L) de oxígeno se muestran en la tabla 3.3.3. Como es posible apreciar, la recuperación media de los metales preciosos es superior al 98 %.

Tabla 3.3.3.- Resultados de la oxidación de metal mate con 600 (L) de Oxígeno.

Metales	MM1S-I (g)	Escoria (g)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM1S-I (g)	Escoria (g)	Abatimiento (%)
Au	1,9963	0,0237	98,81	Se	0,0332	3,1132	99,18
Ag	113,793	1,1612	98,99	Te	0,0313	15,0696	99,79
Pt	0,0272	0,000	100,00	Cu	93,26	1,638	1,73
Pd	0,0533	0,00009	99,83	Pb	3,8502	60,2238	9,22
Rh	0,0058	0,000	100,00	As	21,5326	2,3378	61,86
Ru	0,0003	0,000	100,00	Sb	355,073	6,3328	13,32

La comparación de todos los procesos de oxidación, en cuanto a la recuperación de metales preciosos, se muestra en la figura 3.3.3. Como es posible observar el proceso que eleva la

recuperación sobre un 98 % para todos los metales es el que adiciona 600 (L) de oxígeno. Este proceso fue realizado durante 60 minutos a un flujo volumétrico de 10 (L/min). En cuanto a el abatimiento de contaminantes, la comparación se exhibe en la figura 3.3.3. El proceso se comporta superior en lo referente a la eliminación de Selenio, Teluro con una eliminación cercana al 100%. Para los restantes contaminantes, el proceso se muestra en promedio bajo un 28 %, en comparación con los máximos obtenidos en los restantes procesos.

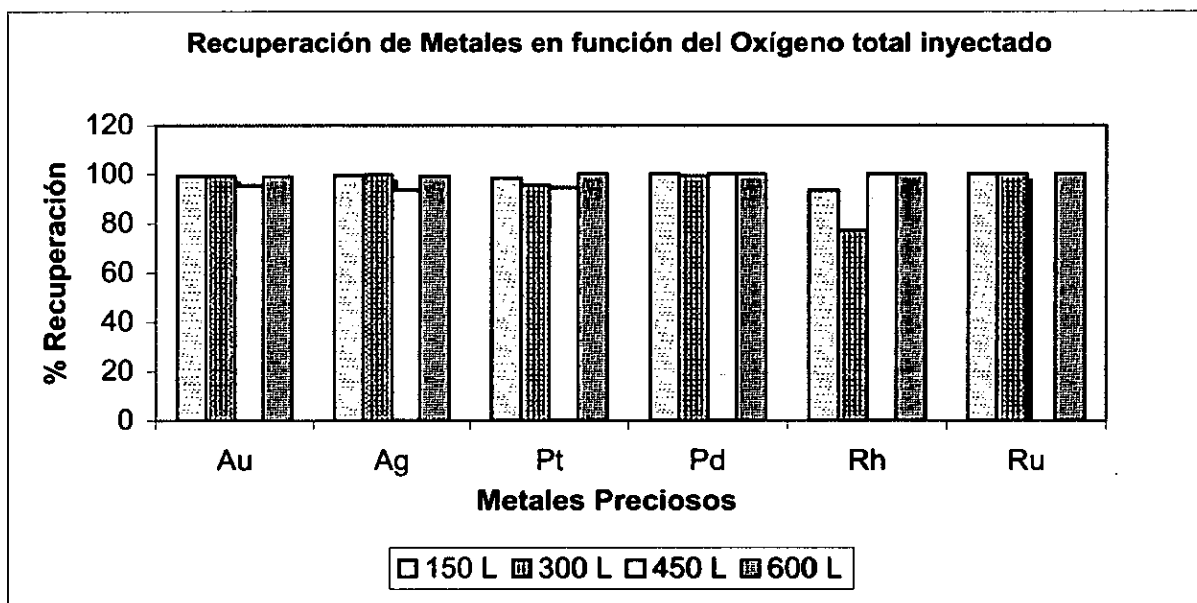


Figura 3.3.2.- Recuperación de metales preciosos en función del oxígeno total inyectado.

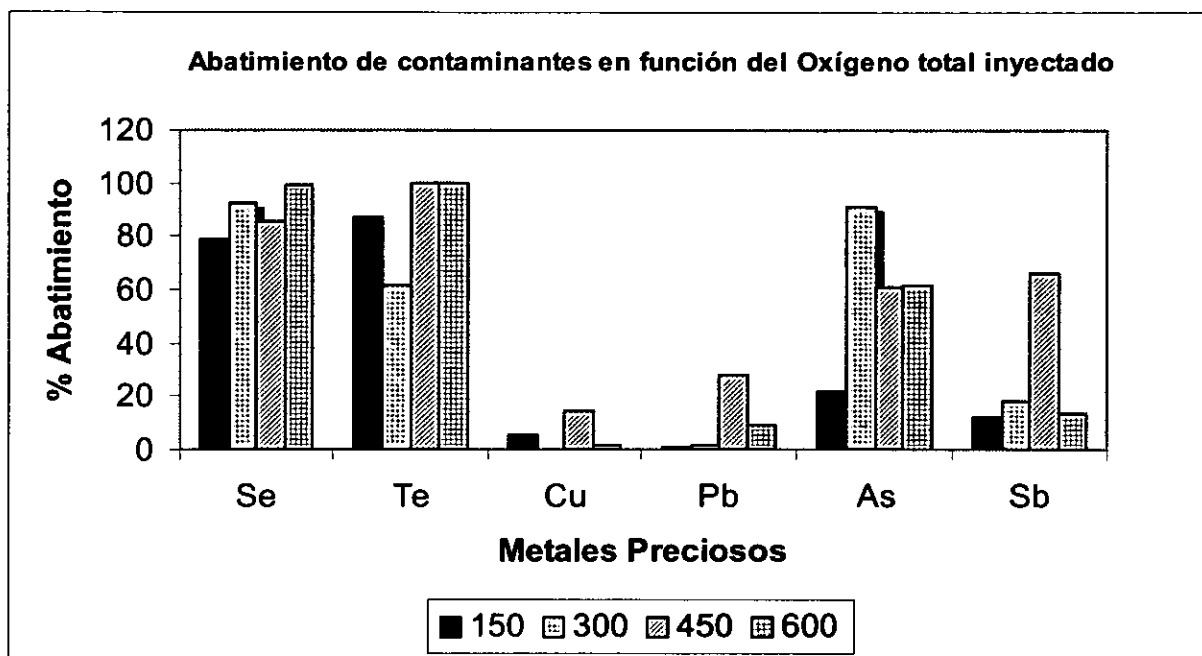


Figura 3.3.3.- Abatimiento de metales preciosos en función del oxígeno total inyectado.

#### 4.1.4 PRUEBAS DE DECOPERIZACIÓN Y DESANTIMONIZACIÓN DE MUESTRAS OXIDADAS A ESCALA BANCO.

Se presentan a continuación los resultados de las pruebas de Decoperización y Desantimonización realizadas a las muestras oxidadas anteriormente. Las condiciones experimentales se resumen en la tabla 3.4.1.

Tabla 3.4.1.- Condiciones experimentales.

Rotulo	Tiempo (min.)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g)	Bórax (g)	Razón Cu/S	PbS (g)
MM20S	35	109.2	32.8	1	310.0

Como producto de la fusión se obtuvieron dos fases: un metal mate (MM20S) y una escoria vitrificada.

Los resultados obtenidos están expresados en la tabla 3.4.2.

Tabla 3.4.2.- Resultados de la prueba de decoperización y desantimonización realizadas a las muestras oxidadas.

Metales	MM2OS (g)	Escoria (g)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM2OS (g)	Escoria (g)	Abatimiento (%)
Au	0,5163	0,0038	99,26	Se	0,2359	0,1695	30.8
Ag	70,9363	0,6938	99,02	Te	0,0000	1,5817	100
Pt	0,0037	0,0002	93,59	Cu	69,0923	6,3399	8.53
Pd	0,0000	0,0003	0,00	Pb	635,5998	52,1026	7.58
Rh	0,0002	0,0000	100,00	As	65,0353	0,2636	0.30
Ru	0,0013	0,0001	92,86	Sb	318,7833	1,0357	5.96

Como es posible apreciar el abatimiento de los contaminantes está por debajo del 10 %, exceptuando el abatimiento del Selenio que se encuentra cercano al 30 %.

Debido a lo antes expuesto se planificó una segunda prueba aumentando la cantidad de sulfuro de plomo agregado. Las condiciones experimentales se muestran en la tabla 3.4.3.

Como producto de fusión se obtuvieron 2 fases un metal mate (MM3OS) y una escoria vitrificada.

Tabla 3.4.3.- Condiciones experimentales.

Rotulo	Tiempo (min.)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g)	Bórax (g)	Razón Cu/S	PbS (g)
MM3OS	35	192.1	63.0	1.5	109

Tabla 3.4.4.- Resultados de la prueba de decoperización y desantimonización realizadas a las muestras oxidadas.

Metales	MM2OS (g)	Escoria (g)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM2OS (g)	Escoria (g)	Abatimiento (%)
Au	1,6982	0,0002	99,99	Se	0,0308	0,21363	87,36
Ag	92,6519	0,2509	99,73	Te	0,0	3,19277	100,00
Pt	0,0206	0,0000	100,00	Cu	70,5133	3,13182	5,53
Pd	0,0313	0,0000	100,00	Pb	633,7590	0,8039	0,13
Rh	0,0075	0,0000	100,00	As	25,1032	0,29513	1,16
Ru	0,0000	0,0000	0,00	Sb	363,6268	0,32196	0,09

Los resultados obtenidos se exhiben en la tabla 3.4.3. Como es posible apreciar la eliminación se eleva a tan solo un 5,53 % para el Cobre y a menos de 10 % para el Antimonio. Debido a lo antes expuesto se ha decidido eliminar la etapa de decoperización y desantimonización.

#### 4.1.5 PRUEBAS DE INERTIZACIÓN DE ESCORIAS DE FUSIÓN A ESCALA BANCO.

Se presenta a continuación el grado de inertización que alcanzó la escoria obtenida en el proceso de fusión-reductiva. Para esto se llevó a cabo el test según estándar método, específicamente el método 1311 que corresponde al TCLP.

Los potenciales contaminantes son compuestos inorgánicos, por lo que los elementos analizados fueron: As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se.

En la tabla 3.5.1 se observan los resultados de este análisis comparados con los valores normados según el reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos DS N°138.

Tabla 3.5.1.- Resultados TCLP de la escoria de Fusión-Reducción

Elemento	Unidad	Norma	Resultado Obtenido
As	mg/L	5	0.19
Ba	mg/L	100	231
Cd	mg/L	1	<0.09
Cr	mg/L	5	0.01
Hg	mg/L	0.2	<0.001
Pb	mg/L	5	0.02
Se	mg/L	1	0.29

Como es posible apreciar todos los elementos se encuentran bajo los límites establecidos a excepción de la concentración de Bario (231 mg/l) que excede la norma. La metodología sugerida para la inertización de la escoria es la vitrificación mediante a adición de vidrio de desecho, y posterior fusión. Los resultados de este proceso se muestran en la tabla 3.5.2.

Tabla 3.5.2.- Resultados TCLP de la escoria de Fusión-Reducción vitrificada.

Elemento	Unidad	Norma	Resultado Obtenido
As	mg/L	5	0.1
Ba	mg/L	100	10
Cd	mg/L	1	<0.09
Cr	mg/L	5	<0.09
Hg	mg/L	0.2	<0.001
Pb	mg/L	5	<0.001
Se	mg/L	1	<0.001

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 3.5.2 todos los elementos se encuentran bajo los límites establecidos, por lo que el proceso propuesto se considera adecuado.

#### 4.1.6 PRUEBAS DE INERTIZACIÓN DE ESCORIAS DE OXIDACIÓN A ESCALA BANCO.

Se presenta a continuación el grado de inertización que alcanzó la escoria obtenida en el proceso de Oxidación. Para esto se llevó a cabo el test según estándar método, específicamente el método 1311 que corresponde al TCLP.

Los potenciales contaminantes son compuestos inorgánicos, por lo que los elementos analizados fueron: As, Ba, Cd, Cr, Hg, Pb, Se.

En la tabla 3.6.1 se observan los resultados de este análisis comparados con los valores normados según el reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos DS N°138

Tabla 3.6.1.- Resultados TCLP de la Escoria de Oxidación

Elemento	Unidad	Norma	Resultado Obtenido
As	mg/L	5	<0.005
Ba	mg/L	100	0.35
Cd	mg/L	1	<0.005
Cr	mg/L	5	<0.03
Hg	mg/L	0.2	0.003
Pb	mg/L	5	1130
Se	mg/L	1	0.001

Como es posible apreciar todos los elementos se encuentran bajo los límites establecidos a excepción de la concentración de Plomo (1130 mg/l) que excede la norma. La metodología sugerida para la inertización de la escoria es la vitrificación mediante a adición de vidrio de desecho, y posterior fusión. Los resultados de este proceso se muestran en la tabla 3.6.2.

Tabla 3.6.2.- Resultados TCLP de la escoria de Oxidación vitrificada.

Elemento	Unidad	Norma	Resultado Obtenido
As	mg/L	5	<0.09
Ba	mg/L	100	<0.09
Cd	mg/L	1	<0.09
Cr	mg/L	5	<0.09
Hg	mg/L	0.2	<0.001
Pb	mg/L	5	<0.001
Se	mg/L	1	<0.001

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 3.6.2 todos los elementos se encuentran bajo los límites establecidos, por lo que el proceso propuesto se considera adecuado.

## 4.2 PRUEBAS A ESCALA PILOTO

### 4.2.1 PRUEBAS DE FUSIÓN - REDUCCIÓN A ESCALA PILOTO.

Se presentan a continuación los principales resultados obtenidos a nivel piloto de las pruebas de fusión reducción. Con el propósito de obtener metal mate para las posteriores pruebas de oxidación y electro refinación, se realizaron más de 20 pruebas de fusión reductora. En esta sección se exhiben los resultados obtenidos de una forma global considerando flujos y composiciones generales del proceso. Para conocer los detalles de cada una de las pruebas realizadas se recomienda consultar la sección de apéndices.

Para los experimentos realizados a nivel piloto se tomaron muestras de cuatro lotes diferentes conteniendo escorias procedentes de Enami – Ventanas. La composición media de estos lotes se muestra en la tabla 3.7.1 y 3.7.2.

Tabla 3.7.1.- Composición media de metales preciosos de la escoria perteneciente a Enami - Ventanas

Metal	Au Kg/Ton	Ag Kg/Ton	Pt g/Ton	Pd g/Ton	Rh g/Ton	Ru g/Ton
Composición	0,20	29,74	N.D.	6,24	0,39	1,13
Desviación	0,0308	3,8858	0,0000	0,6451	0,0418	1,6193

Tabla 3.7.2.- Composición media de contaminantes de la escoria perteneciente a Enami – Ventanas.

Contaminante	% As	% Sb	% Cu	% Pb	% Se	% Te
Composición	3,258	6,89	7,21	10,96	0,19	1,14
Desviación	0,3038	1,4962	0,4210	0,7954	0,0164	0,2486

Las condiciones operacionales de las pruebas en cuestión se detallan en la tabla 3.7.3.

Tabla 3.7.3.- Condiciones operacionales en las pruebas de fusión – reducción.

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> %	Bórax %	Carbón espino %	Plumbex %	Tiempo de Fusión (hr)	Temperatura fusión (°C)
15	5	7	0,1	>2	850-900

Al realizar el proceso de fusión – reducción se obtienen dos fases. Un metal mate con una elevada concentración de metales preciosos y otra fase de escoria con una concentración importante de contaminantes.

El diagrama del proceso se muestra en la figura 3.1.

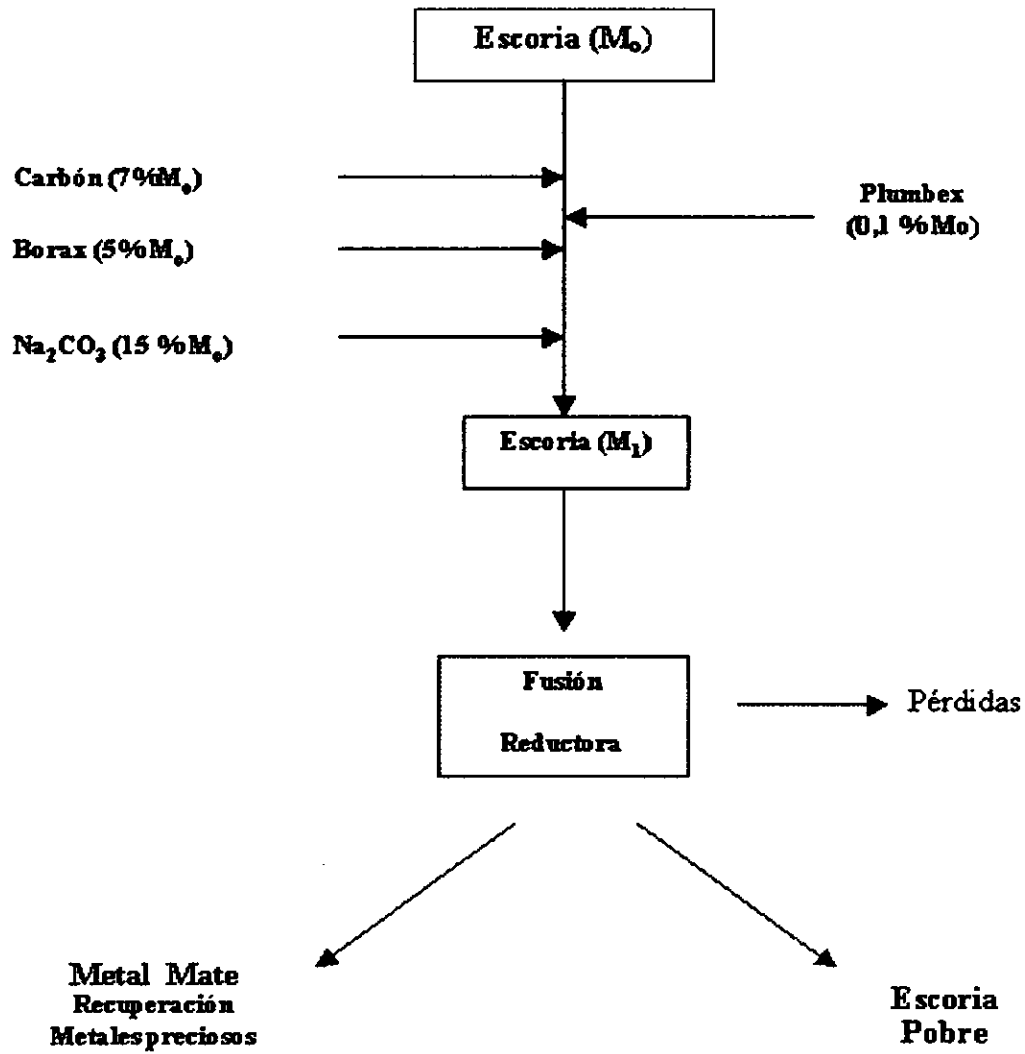


Figura 3.1.- Proceso de Fusión - Reducción

Las concentraciones medias de metal mate y escoria se detallan en las tablas presentadas a continuación.

Tabla 3.7.4.- Composición media y desviación típica de metales preciosos contenidos en el Metal Mate.

Metal	Au Kg/Ton	Ag Kg/Ton	Pt g/Ton	Pd g/Ton	Rh g/Ton	Ru g/Ton
Composición	1,11	76,13	1,93	20,72	0,32	1,61
Desviación Típica	0,72	19,60	0,85	10,17	0,31	2,08

Tabla 3.7.5.- Composición media y desviación típica de contaminantes contenidos en el Metal Mate.

Contaminante	% As	% Sb	% Cu	% Pb	% Se	% Te
Composición	10,94	20,02	19,12	27,94	1,35	1,57
Desviación Típica	15,94	6,41	6,58	3,69	2,02	0,74

Tabla 3.7.6.- Composición media y desviación típica experimental de metales preciosos contenidos en la escoria Metal Mate.

Metal	Au Kg/Ton	Ag Kg/Ton	Pt g/Ton	Pd g/Ton	Rh g/Ton	Ru g/Ton
Composición	0,0166	2,6935	0,0000	0,0000	0,2070	1,1240
Desviación Típica	0,0179	2,4817	0,0000	0,0000	0,2857	1,5839

Tabla 3.7.7.- Composición media y desviación típica experimental la escoria de Metal Mate.

Contaminante	% As	% Sb	% Cu	% Pb	% Se	% Te
Composición	18,4380	7,2930	2,5500	1,5950	0,1070	0,1620
Desviación Típica	12,4918	4,5843	2,6777	1,7359	0,0745	0,1462

#### 4.2.1.1 MODELACIÓN Y ESCALAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

Como se ha mencionado anteriormente el proceso de obtención de metal mate es similar para todas las pruebas realizadas. Debido a esto se ha realizado un seguimiento estadístico al balance de masas. En general, se puede decir que el horno es cargado con una masa inicial de escoria ( $M_0$ ), posteriormente se agregan los fundentes según lo establecido en la tabla 3.7.3, en este punto la masa inicial se transforma en ( $M_1$ ). La obtención de metal mate es en promedio un 25 % de  $M_1$ , la obtención de escoria es en promedio un 43 % de  $M_1$  y las pérdidas equivalen en promedio a un 32 % de  $M_1$ . los resultados se exhiben en la tabla 3.7.8.

Tabla 3.7.8.- Porcentaje obtenido con respecto a la masa inicial cargada ( $M_i$ ) de Metal Mate, Escoria y Pérdidas durante los ensayos de Fusión - Reducción.

Muestra	Metal Mate	Escoria	Pérdida
MMP1	29,11	43,89	27,03
MMP2	20,54	50,92	28,53
MMP3	27,73	37,57	34,7
MMP4	22,78	34,16	43,06
MMP5	17,65	34,54	47,8
MMP6	18,39	30,9	50,71
MMP9	28,68	50,55	20,77
MMP12	26,77	47,18	26,05
MMP15	30,48	49,56	19,96
MMP18	29,42	47,32	23,26
% Medio	25,16	42,66	32,19
Desviación	4,86	7,63	11,30

Con los datos del proceso ya planteados, es posible realizar un balance de masas general del proceso considerando una producción media de escorias equivalente a 1,5 (Ton/día) y una concentración media dada por la tabla 3.7.1 y 3.7.2.

Tabla 3.7.9.- Carga media diaria de metales preciosos incluyendo la desviación típica en la escoria procedente del horno Trof (Mo: 1,5 (Ton/d)).

Metal	Au	Ag	Pt	Pd	Rh	Ru
Kg/día (media)	0,30	44,61	0	0,009366	0,000585	0,001695
Kg/día (+)	0,35	50,44	0	0,010334	0,000648	0,004124
Kg/día (-)	0,25	38,78	0	0,008398	0,000522	0,000000

Tabla 3.7.10.- Carga media diaria de contaminantes incluyendo la desviación típica en la escoria procedente del horno Trof (Mo: 1,5 (Ton/d)).

Contaminante	As	Sb	Cu	Pb	Se	Te
Kg/día (media)	48,87	103,35	108,12	164,37	2,82	17,13
Kg/día (+)	53,43	125,79	114,43	176,30	3,07	20,86
Kg/día (-)	44,31	80,91	101,81	152,44	2,57	13,40

El balance de masas referido a las corrientes principales se muestra en la tabla 3.7.11.

Tabla 3.7.11.- Balance de masas global.

Corriente	Carga (Ton/d)
Metal Mate	0,476
Escoria	0,8133
Pérdidas	0,6136
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,2250
Borax	0,0750
Carbon	0,1050
Plumbex	0,0015
M <sub>1</sub>	1,9065

Debido a la variabilidad de flujos másicos y concentraciones se hace necesario plantear un balance de masas con las respectivas desviaciones de flujo y composición. El balance realizado para el análisis de metales preciosos y contaminantes se muestra en las tablas siguientes.

Tabla 3.7.12.- Flujo de metales preciosos y desviación típica en el metal mate (post fusión –reducción)

Metal Mate	Au	Ag	Pt	Pd	Rh	Ru
Kg/día (media)	0,53	36,51	0,00092	0,00994	0,00015	0,00077
Kg/día (+)	1,05	54,79	0,00159	0,01768	0,00036	0,00211
Kg/día (-)	0,15	21,87	0,00042	0,00408	0,00000	0,00000

De igual manera es necesario incluir en el balance general del proceso las estimaciones de los contaminantes, esto se exhibe en la tabla 3.7.13.

Tabla 3.7.13.- Balance de contaminantes contenidos en el metal mate (post fusión –reducción).

Metal Mate	As	Sb	Cu	Pb	Se	Te
Kg/día (media)	52,4804	96,0023	91,6717	134,0091	6,4791	7,5505
Kg/día (+)	153,87771	151,25865	147,07927	181,01835	19,28899	13,25937
Kg/día (-)	0,00000	52,63646	48,47493	93,83682	0,00000	3,21847

El balance de metales preciosos y contaminantes realizado a la escoria producida después del proceso de fusión reducción (datos globales), se muestra en la tabla 3.7.14 y 3.7.15.

Tabla 3.7.14.- Balance de metales preciosos en la escoria de fusión reducción.

Escoria	Au	Ag	Pt	Pd	Rh	Ru
Kg/día (media)	0,0135	2,19	0,00000	0,00000	0,00017	0,00091
Kg/día (+)	0,0331	4,9619	0,0000	0,0000	0,0005	0,0026
Kg/día (-)	0,0001	0,0141	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla 3.7.15.- Balance de contaminantes en la escoria de fusión reducción.

Escoria	As	Sb	Cu	Pb	Se	Te
Kg/día (media)	149,96	59,31	20,74	12,97	0,87	1,32
Kg/día (+)	296,5508	113,8777	50,1220	31,9357	1,7406	2,9545
Kg/día (-)	3,9709	1,8089	0,0000	0,0000	0,0217	0,0106

Como es posible apreciar la variabilidad experimental es elevada y no es posible predecir con certeza la cantidad de metales preciosos recuperados. La razón principal para este fenómeno es que los minerales utilizados por Enami provienen de distintos yacimientos por lo que es esperable obtener distintas concentraciones de metales nobles y distintos porcentajes de recuperación de los mismos. Sin embargo, el proceso puede ser modelado realizando ciertas consideraciones. Primero: se considerará como masa inicial de metales preciosos (nobles) a la sumatoria de las cantidades de metales nobles presentes en la escoria y metal mate, esto es bastante razonable ya que los metales nobles no se liberan en forma gaseosa. Segundo: se mantienen los porcentajes de recuperación de metal mate, escoria y pérdidas según lo establecido en la tabla 3.7.8.

Con estas consideraciones ya realizadas se define el porcentaje de recuperación como:

$$\%Ri = \frac{M_{pi}}{M_{pt}} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

%Ri: Porcentaje recuperación del metal (i).

M<sub>pi</sub>: Masa del metal (i) en Metal Mate.

M<sub>pt</sub>: Masa metal (i) en Metal Mate y Escoria.

De forma similar el porcentaje de eliminación se calcula en función de la masa de contaminante presente en la escoria versus la masa total en escoria y metal mate. Se presentan a continuación los porcentajes medios de recuperación y abatimiento calculados a partir de la fórmula (1) y del apéndice A.

Tabla 3.7.16.- Porcentaje de recuperación de metales preciosos.

Elemento	% Ri
Au	97,28
Ag	95,16
Pt	100,00
Pd	100,00
Rh	63,02
Ru	48,65

Tabla 3.7.17.- Porcentaje de eliminación de contaminantes.

Elemento	% E
As	68,36
Sb	37,13
Cu	16,59
Pb	8,09
Se	21,45
Te	13,99

Finalmente, con las consideraciones ya realizadas es posible modelar el proceso de fusión reducción en lo referente a corrientes y recuperaciones. Se considera la composición media de salida la entregada por la tabla 3.7.4 y los flujos medios los entregados por la tabla 3.7.11. El flujo de contaminantes se entrega en la tabla 3.7.13

Tabla 3.7.18.- Flujo de metales preciosos en Metal Mate, y Escoria post fusión – reducción.

Elemento	Kg/día (Metal Mate)	Kg/día (Escoria)
Au	0,53185	0,01489
Ag	36,51091	1,85703
Pt	0,00092	0,00000
Pd	0,00994	0,00000
Rh	0,00015	0,00009
Ru	0,00077	0,00081

#### 4.2.2 PRUEBAS DE OXIDACIÓN A ESCALA PILOTO.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos con las pruebas de oxidación de Metal Mate. La finalidad de esta etapa es remover en forma selectiva la mayor cantidad de contaminantes posible. En una primera fase, la oxidación no presentó ninguna mejora significativa con respecto a la fusión reductora obteniéndose las mismas concentraciones de contaminantes y metales nobles informadas para el proceso de fusión reducción y ninguna tendencia clara en cuanto a la recuperación de Metal Mate, sin embargo, al modificar el tipo de lanza utilizada para oxidar la muestra el proceso mostró mejoras evidentes.

Al igual que en la etapa anterior el porcentaje de recuperación y eliminación se definen según lo establecido en la fórmula 3.7.1.

Se consideran como respuestas al “efecto oxidación” las siguientes variables: porcentaje de recuperación promedio de todos los metales preciosos, porcentaje de abatimiento promedio de todos los contaminantes contenidos en la muestra, concentración media de contaminantes en el Metal Mate.

La tabla 3.8.1 muestra las condiciones del Metal Mate posterior a las pruebas de fusión reducción. Las tablas posteriores muestran la evolución en el porcentaje de recuperación, abatimiento y concentración media de contaminantes del Metal Mate al utilizar la lanza de silimantia con un diámetro de salida de 1,5 cm.

Tabla 3.8.1.- Condiciones iniciales en el proceso de Oxidación.

Parámetro	Recuperación (%)	Abatimiento (%)	Contaminantes % medio	Oxígeno total (L)
Promedio	96,82	7,17	12,97	0,00
Desv.	4,68	7,34	13,43	INICIAL

Tabla 3.8.2.- Evolución del proceso al añadir 400(L) de oxígeno.

Parámetro	Recuperación (%)	Abatimiento (%)	Contaminantes % medio	Oxígeno total (L)
Promedio	70,12	37,77	10,41	400,00
Desv.	20,32	35,19	11,22	MMPOX 1

Tabla 3.8.3.- Evolución del proceso al añadir 1200(L) de oxígeno.

Parámetro	Recuperación (%)	Abatimiento (%)	Contaminantes % medio	Oxígeno total (L)
Promedio	98,56	18,20	12,16	1200,00
Desv.	2,10	21,00	12,49	MMPOX 3 - 1hr

Tabla 3.8.4.- Evolución del proceso al añadir 2400(L) de oxígeno.

Parámetro	Recuperación (%)	Abatimiento (%)	Contaminantes % medio	Oxígeno total (L)
Promedio	99,68	20,59	12,57	2400,00
Desv.	0,61	7,12	13,47	MMPOX 3 - 2hr

Tabla 3.8.5.- Evolución del proceso al añadir 3000(L) de oxígeno.

Parámetro	Recuperación (%)	Abatimiento (%)	Contaminantes % medio	Oxígeno total (L)
Promedio	90,08	11,96	13,20	3000,00
Desv.	0,72	13,62	13,37	MMPOX 3 - 2,5hr

El resumen de estas tablas se aprecia en la figura 3.8.1.

### Efecto de la Oxidación

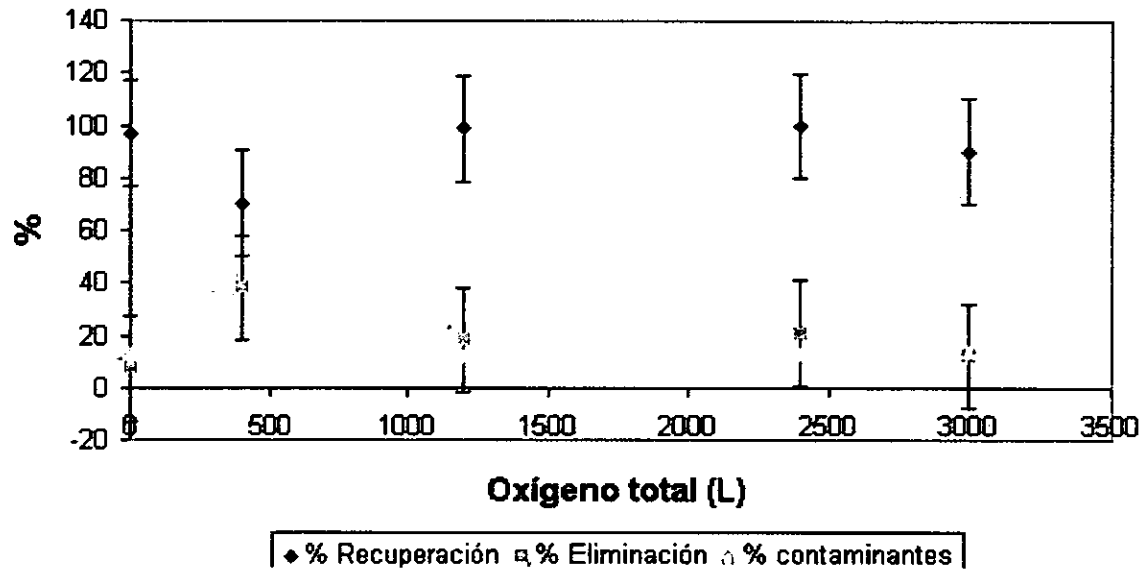


Figura 3.8.1.- Efecto de la oxidación sobre la eliminación de contaminantes. Primera etapa.

Como es posible apreciar la recuperación se mantiene en los márgenes cercanos al 100 % exceptuando la oxidación con 400 (L) de oxígeno en donde el porcentaje decae hasta 70 %, sin embargo, dada la variabilidad experimental de las experiencias este decaimiento no se considera significativo.

Lo importante surge de la comparación de el porcentaje de abatimiento y la concentración media final de contaminantes. Como es posible apreciar, la eliminación media no sobrepasa en general el 20 % y este hecho se ve corroborado por la concentración media de contaminantes en la muestra con un valor prácticamente constante cercano al 13 % (P/P). Si el efecto de oxidación fuese estadísticamente significativo la eliminación de contaminantes se vería elevada en algún punto y como contrapartida la concentración media de contaminantes se vería bruscamente disminuida. Este fenómeno no es apreciable en la primera etapa bajo ninguna condición de oxidación, fenómeno atribuido principalmente a el tipo de lanza empleado. En la primera etapa se utilizaron lanzas de silimanita con una sola salida para el oxígeno con un diámetro de 1,5 cm. Debido a los malos resultados obtenidos se dedujo que la difusión del oxígeno estaba siendo controlada por la resistencia a la transferencia de masa gas líquido caracterizada básicamente por el tamaño de burbuja del gas ascendente.

Sin embargo, al modificar la forma de entrada del oxígeno, adicionando múltiples salidas más pequeñas a la lanza, se obtuvieron resultados radicalmente diferentes, según lo mostrado en las tablas presentadas a continuación.

Tabla 3.8.6.- Resumen general de las pruebas de Oxidación realizadas con lanza modificada.

Masa inicial (kg)	Metal Mate (kg)	Escoria (kg)	Oxígeno total (L)	R (L O <sub>2</sub> /Kg Mi)	Metal Mate (%)	Escoria (%)	Pérdida (%)
6,06	4,52	0,53	450	74,21	74,55	8,73	16,73
7,69	4,91	1,05	1200	156,14	63,89	13,71	22,40
8,75	7,13	0,91	3000	342,75	81,46	10,40	8,14
12,60	10,12	1,26	4200	333,23	80,33	9,96	9,71
10,12	7,30	1,81	5000	494,07	72,10	17,90	10,00

Como es posible apreciar el cambio en el tipo de lanza arroja un comportamiento muy similar al encontrado en laboratorio. Cuando la relación R expresada como litros de oxígeno por kilogramos de masa inicial, se acerca a el valor establecido óptimo de 343, se observan las mejores recuperaciones de Metal Mate (sobre 80 %). Para valores superiores e inferiores de R la obtención de pérdida y escoria se ve incrementada. Bajo las condiciones ya mencionadas la obtención de Metal Mate, escorias y pérdidas se muestran en la tabla 3.8.7.

Tabla 3.8.7.- Obtención media de Metal Mate, escorias y pérdidas para las condiciones óptimas de la segunda fase de las pruebas de oxidación.

Muestra	Metal Mate	Escoria	Pérdida
% Medio	80,9	10,2	8,9
Desviación	0,8	0,3	1,1

Se detallan a continuación las pruebas de oxidación realizadas utilizando la lanza de silimanita modificada.

Tabla 3.8.8.- Porcentaje de recuperación de metales preciosos y eliminación de contaminantes para la primera prueba de oxidación con lanza modificada.

Metales	MM-F2 4,52 (kg)	Esc-F2 0,53 (kg)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM-F2 4,52 (kg)	Esc-F2 0,53 (kg)	Eliminación (%)
Au	4,16	0,03	99,24	Se	0,45	1,69	78,90
Ag	304,89	2,05	99,33	Te	2,71	17,62	86,67
Pt	0,07	0,00	98,74	Cu	174,50	8,81	4,80
Pd	0,07	0,00	100,00	Pb	2640,09	18,10	0,68
Rh	0,00	0,00	93,75	As	95,19	5,77	5,71
Ru	0,03	0,00	100,00	Sb	939,29	10,97	1,15

Tabla 3.8.9.- Porcentaje de recuperación de metales preciosos y eliminación de contaminantes para la segunda prueba de oxidación con lanza modificada.

Metales	MM-F2 4,91 (kg)	Esc-F2 1,05 (kg)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM-F2 4,91 (kg)	Esc-F2 1,05 (kg)	Eliminación (%)
Au	2,55	0,02	99,18	Se	0,49	5,58	91,91
Ag	269,25	0,96	99,65	Te	1,56	3,16	66,90
Pt	0,03	0,00	95,45	Cu	368,74	1,16	0,31
Pd	0,05	0,00	99,15	Pb	240,55	4,00	1,64
Rh	0,00	0,00	76,92	As	51,06	10,64	17,25
Ru	0,04	0,00	100,00	Sb	1523,57	9,48	0,62

Tabla 3.8.10.- Porcentaje de recuperación de metales preciosos y eliminación de contaminantes para la tercera prueba de oxidación con lanza modificada.

Metales	MM-F2 7,13 (kg)	Esc-F2 0,91 (kg)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM-F2 7,13 (kg)	Esc-F2 0,91 (kg)	Eliminación (%)
Au	9,98	0,12	98,83	Se	0,17	15,57	98,94
Ag	568,97	5,81	98,99	Te	0,16	75,35	99,79
Pt	0,14	0,00	100,00	Cu	466,30	8,19	1,73
Pd	0,27	0,00	99,83	Pb	19,25	301,12	93,99
Rh	0,03	0,00	100,00	As	107,66	11,69	9,79
Ru	0,00	0,00	100,00	Sb	1775,37	31,66	1,75

Tabla 3.8.11.- Porcentaje de recuperación de metales preciosos y eliminación de contaminantes para la cuarta prueba de oxidación con lanza modificada.

Metales	MM-F2 10,12 (kg)	Esc-F2 1,26(kg)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM-F2 10,12 (kg)	Esc-F2 1,26(kg)	Eliminación (%)
Au	14,37	0,17	98,83	Se	0,24	22,42	98,94
Ag	819,31	8,36	98,99	Te	0,23	108,50	99,79
Pt	0,20	0,00	100,00	Cu	671,47	11,79	1,73
Pd	0,38	0,00	99,83	Pb	27,72	433,61	93,99
Rh	0,04	0,00	100,00	As	155,03	16,83	9,79
Ru	0,00	0,00	100,00	Sb	2556,53	45,60	1,75

Tabla 3.8.12.- Porcentaje de recuperación de metales preciosos y eliminación de contaminantes para la quinta prueba de oxidación con lanza modificada.

Metales	MM-F2 7,3 (kg)	Esc-F2 1,81(kg)	Recuperación (%)	Contaminantes	MM-F2 7,3 (kg)	Esc-F2 1,81(kg)	Eliminación (%)
Au	11,54	0,14	98,83	Se	0,19	17,99	98,94
Ag	657,72	6,71	98,99	Te	0,18	87,10	99,79
Pt	0,16	0,00	100,00	Cu	539,04	9,47	1,73
Pd	0,31	0,00	99,83	Pb	22,25	348,09	93,99
Rh	0,03	0,00	100,00	As	124,46	13,51	9,79
Ru	0,00	0,00	100,00	Sb	2052,32	36,60	1,75

#### 4.2.2.1 MODELACIÓN Y ESCALAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

Procediendo de forma similar al proceso de fusión – reducción, se puede modelar el proceso de oxidación con los datos ya entregados.

Como se ha informado anteriormente el flujo y concentración del Metal Mate obtenido de la etapa de fusión reducción viene dado por las tablas 3.7.4 a 3.7.11, de las cuales se presenta el siguiente resumen.

Tabla 3.8.13.- Balance de masas global.

Corriente	Carga (Ton/d)
Metal Mate	0,4796
Escoria	0,8133
Pérdidas	0,6136

Tabla 3.8.14.- Composición media y desviación típica de metales preciosos contenidos en el Metal Mate.

Metal	Au Kg/Ton	Ag Kg/Ton	Pt g/Ton	Pd g/Ton	Rh g/Ton	Ru g/Ton
Composición	1,11	76,13	1,93	20,72	0,32	1,61

Tabla 3.8.15.- Composición media y desviación típica de contaminantes contenidos en el Metal Mate.

Contaminante	% As	% Sb	% Cu	% Pb	% Se	% Te
Composición	10,94	20,02	19,12	27,94	1,35	1,57

Tabla 3.8.16.- Composición media y desviación típica experimental de metales preciosos contenidos en la escoria Metal Mate.

Metal	Au Kg/Ton	Ag Kg/Ton	Pt g/Ton	Pd g/Ton	Rh g/Ton	Ru g/Ton
Composición	0,0166	2,6935	0,0000	0,0000	0,2070	1,1240

Tabla 3.8.17.- Composición media y desviación típica experimental la escoria de Metal Mate.

Contaminante	% As	% Sb	% Cu	% Pb	% Se	% Te
Composición	18,4380	7,2930	2,5500	1,5950	0,1070	0,1620

Según lo antes planteado al hacer ingresar una masa inicial de 0,479 (Ton/día) de Metal Mate post fusión reducción se le deben agregar 0,072 (Ton/día) de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y 0,024 (Ton/día) de Boróx, obteniéndose una masa inicial de 0,575 (Ton/día) a la entrada de la oxidación. El oxígeno requerido para el proceso sería de: 197 ( $\text{m}^3/\text{día}$ ).

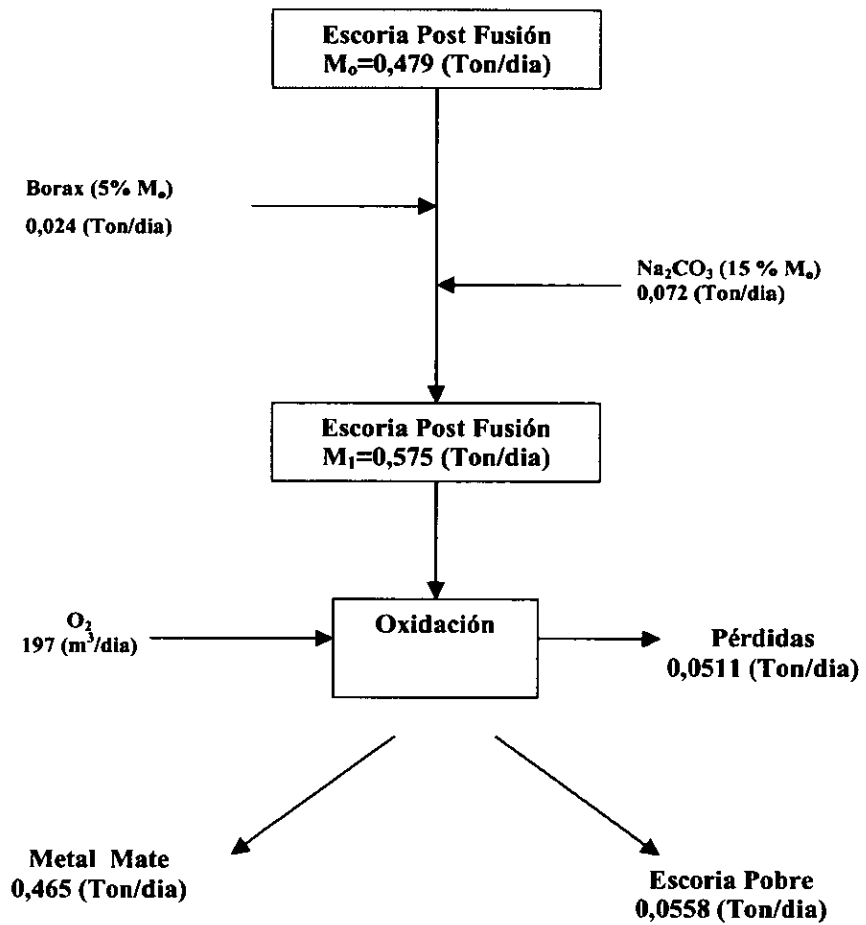


Figura 3.8.2- Proceso de Oxidación.

De acuerdo con la tabla 3.8.7 los flujos esperables de Metal Mate, Escoria y pérdidas, post-oxidación serían respectivamente: 0,465 - 0,0558 y 0,0511 (Ton/día). Los porcentajes de recuperación y eliminación medios del proceso de oxidación se entregan en la tabla 3.8.18.

Tabla 3.8.18.- Porcentajes medios de recuperación y eliminación del proceso de oxidación.

Metales	Recuperación (%)	Contaminantes	Eliminación (%)
Au	98,83	Se	98,94
Ag	98,99	Te	99,79
Pt	100,00	Cu	1,73
Pd	99,83	Pb	93,99
Rh	100,00	As	9,79
Ru	100,00	Sb	1,75

Si se considera como flujo medio de metales preciosos a la salida del proceso de fusión – reducción lo entregado por la tabla 3.7.19, se obtiene el flujo medio de salida de metales preciosos y contaminantes a la salida del proceso de oxidación, según la tabla 3.7.20.

Tabla 3.7.19.- Flujo de metales preciosos en Metal Mate, y Escoria post fusión – reducción.

Elemento	Kg/día (Metal Mate)	Kg/día (Escoria)
Au	0,53185	0,01489
Ag	36,51091	1,85703
Pt	0,00092	0,00000
Pd	0,00994	0,00000
Rh	0,00015	0,00009
Ru	0,00077	0,00081

Tabla 3.7.20.- Flujo de contaminantes en Metal Mate post fusión – reducción.

Metal Mate	Kg/día (media)
As	52,4804
Sb	96,0023
Cu	91,6717
Pb	134,0091
Se	6,4791
Te	7,5505

Tabla 3.7.21.- Flujo de metales preciosos en Metal Mate, y Escoria post oxidación.

Elemento	Kg/día Metal mate	Kg/día Escoria	Contaminantes	Kg/día Metal mate	Kg/día Escoria
Au	0,5256	0,0062	As	47,3426	5,14
Ag	36,1421	0,3688	Sb	94,3223	1,68
Pt	0,0009	0,0000	Cu	90,0858	1,59
Pd	0,0099	0,0000	Pb	8,0539	125,96
Rh	0,0002	0,0000	Se	0,0687	6,41
Ru	0,0008	0,0000	Te	0,0159	7,53

La concentración media de metales preciosos y contaminantes está dada por la tabla 3.7.22.

Tabla 3.7.22.- Concentración de metales preciosos y contaminantes a las salida del proceso de oxidación.

Elemento	Kg/Ton Metal mate	Kg/Ton Escoria	Contaminantes	% Metal mate	% Escoria
Au	1,1303	0,1065	As	10,1812	8,7676
Ag	77,7249	6,2937	Sb	20,2844	2,8670
Pt	0,0020	0,0000	Cu	19,3733	2,7063
Pd	0,0213	0,0003	Pb	1,7320	214,9405
Rh	0,0003	0,0000	Se	0,0148	10,9393
Ru	0,0017	0,0000	Te	0,0034	12,8578

#### 4.2.3 PRUEBAS DE ELECTRO OBTENCIÓN DE PLOMO.

Dentro de los contaminantes principales del Metal Mate se encuentran el Plomo y el Cobre. En general estos metales se encuentran en su estado elemental después de los proceso de fusión- reducción y oxidación. A través del proceso de electro refinación es posible utilizar el Metal Mate como ánodo, produciendo la semireacción:



Si se utiliza una solución rica en plomo se producirá la reducción del metal en el cátodo. De esta forma se obtendrá Plomo catódico en mezcla con Cobre y otros contaminantes. El barro anódico generado contendrá todos los metales preciosos provenientes del Metal Mate original ya que por tener un elevado potencial de semicelda no son capaces de ser depositados en el cátodo.

Tabla 3.9.2.- Concentración de metales preciosos y contaminantes en el barro anódico.

Elemento	Kg/Ton Barro Anódico	Contaminantes	% Barro Anódico
Au	1,8839	As	1,6969
Ag	129,5416	Sb	3,3807
Pt	0,0033	Cu	3,2289
Pd	0,0356	Pb	0,2887
Rh	0,0005	Se	0,0025
Ru	0,0028	Te	0,0006

En términos de eficiencia el proceso de electro refinación presenta una recuperación del 100 % de los metales preciosos y de una eliminación media del 90 % de los contaminantes

#### 4.2.3.1 MODELACIÓN Y ESCALAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

Según lo presentado anteriormente el flujo saliente del proceso de oxidación viene dado por la tabla 3.9.3.

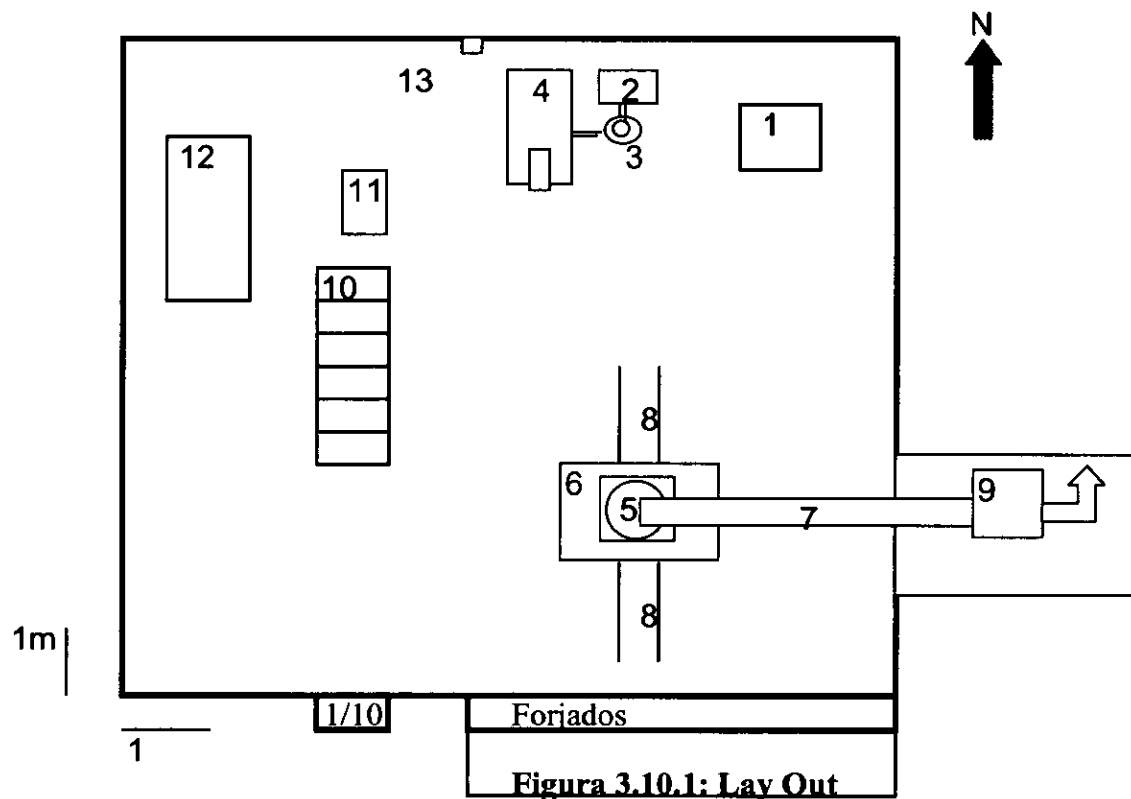
Tabla 3.93.- Flujo estimado a la salida del proceso de electro refinación.

Elemento	Kg/día Barro Anódico	Contaminantes	Kg/día Barro Anódico
Au	0,5256	As	4,7343
Ag	36,1421	Sb	9,4322
Pt	0,0009	Cu	9,0086
Pd	0,0099	Pb	0,8054
Rh	0,0002	Se	0,0069
Ru	0,0008	Te	0,0016

### 4.3 PROYECCIÓN ECONÓMICA Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE METALES NOBLES.

Se presentan a continuación las proyecciones a nivel industrial de una planta de recuperación de metales preciosos.

Figura 3.10.1.- Lay out planta recuperación metales nobles.



- 1 Molino de
- 2 Molino de
- 3 Ciclo
- 4 Filtro de
- 5 Horno Morgan
- 6 Campana
- 7 Tubo
- 8 Riel del Horno
- 9 Motor
- 10 Celda de Refinación
- 11 Rectificad
- 12 Caseta de
- 13 Tablero

Figura 3.10.2.- Flow Sheet propuesto para el proceso.

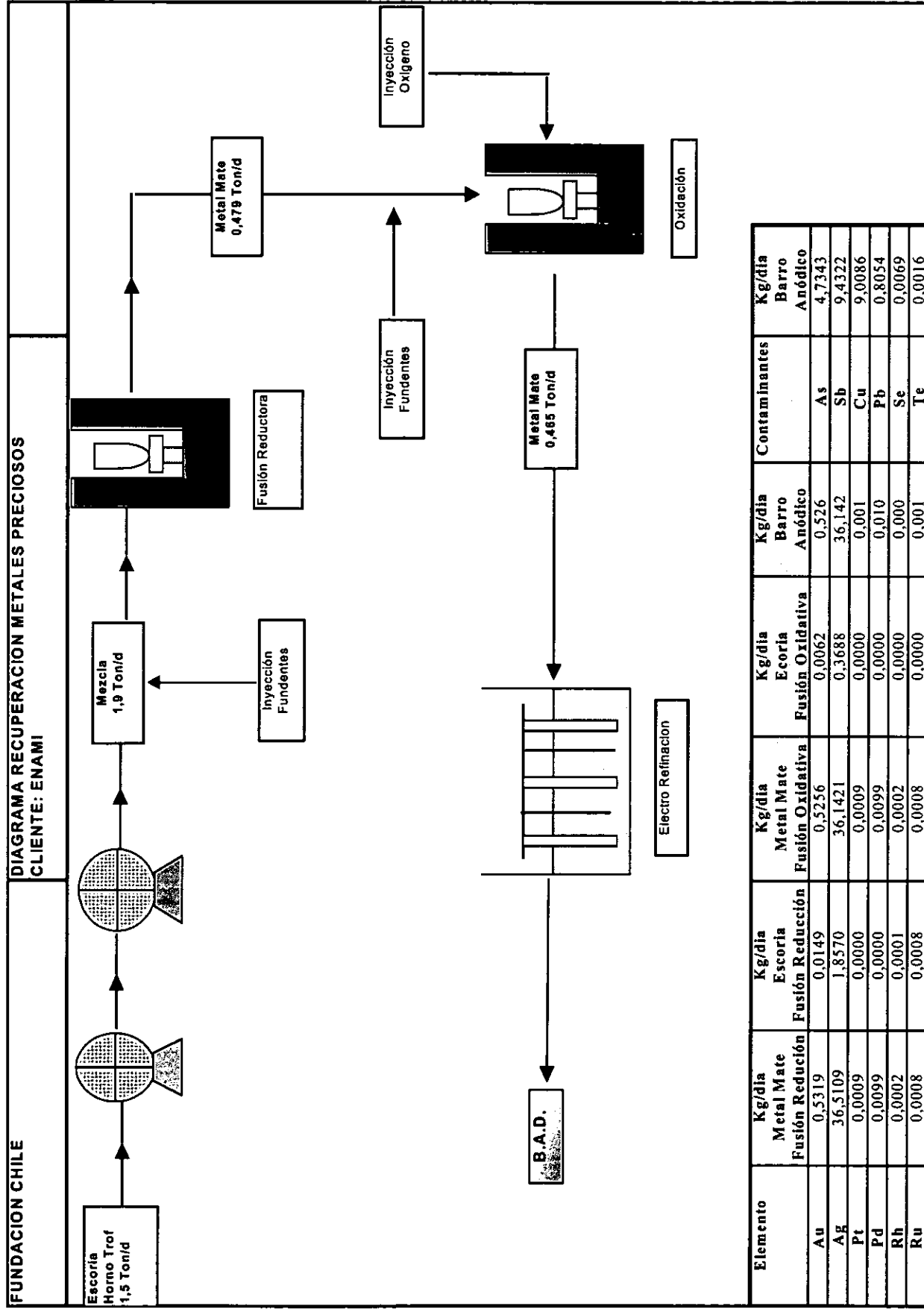


Figura 3.10.3.- Inversión capital fijo.

COSTO TOTAL DE EQUIPOS (PCE)	Equipo	Cantidad	Precio (Moneda nacional)	Total
	Molino Martillo	1,00	5.000.000,00	5.000.000,00
PCE	Molino Rodillo	1,00	8.000.000,00	8.000.000,00
	Filtro Mangas	1,00	5.000.000,00	5.000.000,00
	Lavador Gases	1,00	3.000.000,00	3.000.000,00
	Ciclón	1,00	500.000,00	500.000,00
	Horno Fusión	1,00	10.000.000,00	10.000.000,00
	Electro Obtención	1,00	50.000.000,00	50.000.000,00
	PCE			81.500.000,00

COSTO FISICO TOTAL PLANTA (PPC)	Parámetro	Concepto	Valor	Valor individual
	f1	Levantamiento, transporte equipo	0,200	16.300.000,00
PPC	f2	Piping y montaje mecanico	0,150	12.225.000,00
	f3	Instrumentación y control	0,234	19.071.000,00
	f4	Sistemas Electricos	0,100	8.150.000,00
	f5	Edificio Proceso	0,200	16.300.000,00
	f6	Utilities	0,000	0,00
	f7	Almacenaje	0,000	0,00
	f8	Fundaciones y O.C.	0,135	11.002.500,00
	f9	Construcción Auxiliar	0,000	0,00
	TOTAL		1,02	83.048.500,00

CAPITAL FIJO TOTAL ( Moneda nacional)	Parámetro	Concepto	Valor	Valor individual
IFC	f10	Diseño e Ingeniería	0,050	8.227.425,00
	f11	Honorarios Contratistas	0,030	4.936.455,00
	f12	Contingencias	0,015	2.468.227,50
	TOTAL		0,10	15.632.107,50

Figura 3.10.4.- Costos fijos y variables.

**COSTOS TRATAMIENTO ESCORIA HORNO TROF**

<b>CAPITAL FIJO TOTAL ( Moneda nacional)</b>	
TFC	180.180.608

**COSTOS FIJOS**

ITEM	Costo \$ / Año
Mantenimiento	9.009.030,38
Mano Obra general	19.200.000,00
Seguro	1.801.806,08
Costo general	1.920.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>31.930.836</b>

(1 Operador + 1 supervisor en dos turnos)

**COSTOS VARIABLES**

93465 Barro anódico (kg/a)

COMPONENTE	Flujo Anual	Unidad	Consumo / kg barro anódico	Precio Medio	Unidad	Costo / kg B.A.
Electricidad	16.176.960,00	KW/hr	173,08	34,00	KW/hr	5.884,73
Otros	500.000,00	****	5,35	300	***	1.604,88

Costo / kg B.A. 7.490

Figura 3.10.5.- Flujo de caja del proceso.

EVALUACION ECONOMICA RECUPERACION METALES NOBLES Y VENTA B.A.D.	MODELO TIPO "FORJADOS"			
PRODUCCION Barro Anodico (kg/ Año)	93.465,00		93.465,00	93.465,00
Items/ Años	1,00		2,00	3,00
INGRESOS (INCLUYE VENTA DE B.A.D.)	2.717.011.623,59		2.717.011.623,59	2.717.011.623,59
COSTOS FIJOS	-31.930.836,45		-31.930.836,45	-31.930.836,45
COSTOS ADM. Y VENTAS	-27.170.116,24		-27.170.116,24	-27.170.116,24
COSTOS VARIABLES	-700.016.640,00		-700.016.640,00	-700.016.640,00
COSTOS DEVOLUCION ENAMI (50%)	-1.358.505.811,80		-1.358.505.811,80	-1.358.505.811,80
DEPRECIACION	-16.216.254,68		-16.216.254,68	-16.216.254,68
INTERÉS	0,00		0,00	0,00
EGRESOS TOTALES	-2.133.839.659,16		-2.133.839.659,16	-2.133.839.659,16
R. ANTES DE IMPUESTO (No Incluye Royalty)	583.171.964,43		583.171.964,43	583.171.964,43
ROYALTY F. CHILE	-68.073.972,34		-68.073.972,34	-68.073.972,34
R. ANTES DE IMPUESTO	515.097.992,09		515.097.992,09	515.097.992,09
IMPUESTO RENTA (17%)	-99.139.233,95		-99.139.233,95	-99.139.233,95
R. DESPUES DE IMPUESTOS	415.958.758,13		415.958.758,13	415.958.758,13
DEPRECIACION	16.216.254,68		16.216.254,68	16.216.254,68
INVERSION	-180.180.607,50			
PRESTAMO	0,00			
AMORT.PRESTAMO			0,00	0,00
CAPITAL DE TRAB.	-1.066.919.829,58			
VALOR DE DESECHO				
FLUJO NETO FONDOS	-1.247.100.437,08		432.175.012,81	432.175.012,81
VAN AL 15%	1.190.066.011,68			
TIR (%)	34			



En el diseño industrial se han considerado como precios de equipos, los entregados por el mercado. La empresa considerada como modelo es Forjados S.A. El capital fijo estimado es de \$180 MM. Según se detalla en la figura 3.10.3. El costo estimado de insumos por kilogramo de barro anódico producido es de \$7490. Los costos fijos se estiman en función del capital fijo total, y de la mano de obra, con estas consideraciones se ha estimado que el costo fijo anual de la planta asciende a \$31.930.836. En el flujo de caja se consideran como ingreso la venta de barro anódico como un 85 % del valor de la cantidad de metales preciosos contenidos, evaluado según la bolsa de metales de Londres. Se ha considerado un Royalty a la utilidad antes de impuesto de 12 % para Fundación Chile y la devolución a Enami del 50 % del ingreso.

Con estos valores se determina un V.A.N. (15 %) igual a 1.190.066.011 y una T.I.R. de 34 % para la empresa que realiza el proceso propuesto.

## **5 IMPACTOS DEL PROYECTO**

Los impactos de orden técnico económico para la empresa son el disponer de una tecnología, nueva en Chile, que permite recuperar metales nobles desde un residuo que actualmente es exportado. Esta tecnología compite con la oferta extranjera, por lo que puede ser implementada y permite resolver el problema en nuestro país. Económicamente, la empresa tiene la posibilidad de ingresar nuevamente a un área productiva de la cual ya tiene conocimiento, dada su experiencia anterior en la recuperación de metales nobles contenidos en residuos, con los consiguientes beneficios económicos que significa recuperar metales nobles con una alta eficiencia, en base al proceso desarrollado.

En el marco del proyecto se ha desarrollado la ingeniería básica, por lo que el siguiente paso es el desarrollo de la ingeniería de detalle, con el fin de disponer de planos de detalle de los equipos y lay out de la planta industrial.

### **5.1 ANÁLISIS DE MERCADO**

Las escorias de fusión son producidas en el país por la empresa minera estatal CODELCO, en su división Ventanas. Actualmente se generan alrededor de 400 ton/año de escorias, que son la materia prima disponible. Esta misma empresa minera podría reabrir su planta de metales nobles en la división CODELCO Norte, con lo cual se dispondría de 550 ton/año adicionales de escoria, a lo cual se suma las escorias que se producirían si CODELCO Norte trata los barros anódicos de CODELCO Salvador, lo cual aumenta la disponibilidad de escorias en 270 ton/año adicionales. El mercado extranjero de aplicación de la tecnología aún no se ha explorado y sería parte de una fase posterior del proyecto.

### **5.2 ESTRATEGIA DE MARKETING**

Uno de los pasos a seguir es la negociación con CODELCO Ventanas, con el fin de llegar a un acuerdo con el fin de asegurar la disponibilidad del residuo. Existen dos modalidades en las cuales se puede llegar a un acuerdo con CODELCO. Una de ellas es ofrecer un servicio de maquila de recuperación, con lo cual se instala la planta, de propiedad de Forjados S.A. en CODELCO-Ventanas y se lleva a cabo la recuperación de metales nobles. Otra posibilidad es que Forjados S.A. instale una planta en su instalaciones y compre el residuo a CODELCO, en términos similares a los cuales actualmente CODELCO vende a empresas extranjeras. Ambas modalidades requieren de contratos que aseguren la disponibilidad del residuo, con el fin de asegurar la viabilidad económica del negocio. La fase de negociación con CODELCO es posterior a la ejecución de este proyecto, en el cual se ha evaluado la factibilidad técnica y económica de desarrollar el negocio, considerando solo la disponibilidad del residuo generado por Ventanas.

### **5.3 EMPAQUETAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA**

La tecnología desarrollada por la empresa Forjados S.A., en alianza con Fundación Chile se encuentra en una fase de empaquetamiento, con el fin de explorar la posibilidad de comercializarla en el extranjero. Este empaquetamiento también incluye las acciones de patentamiento, lo cual se efectuará a continuación del presente proyecto. Para ello Fundación Chile cuenta con asesoría de una empresa de propiedad intelectual, la que ha llevado a cabo el patentamiento en otras tecnologías desarrolladas por la institución.

#### **5.3.1 ALIANZA FORJADOS S.A.-FUNDACIÓN CHILE**

La empresa Forjados S.A. y Fundación Chile han llegado a un acuerdo preliminar de explotación de la tecnología. El acuerdo se basa en que ambas entidades han aportado conocimiento que ha permitido en forma conjunta el desarrollo de una tecnología no disponible en el país. Se adjunta una copia del acuerdo preliminar.

Con el fin de fortalecer aspectos técnicos, de negocio y comercialización de los resultados, el próximo paso a seguir, es el desarrollo en el marco de un proyecto INNOVA Chile, Línea de Productos y Resultados Tecnológicos Empresarizables. Esto con el fin de ejecutar acciones conducentes a la introducción al mercado de los resultados. Los puntos que se considera fortalecer y desarrollar son los siguientes:

- Constitución e implementación de una empresa filial de Forjados S.A. que lleve a cabo el negocio.
- Formalización de los acuerdos con CODELCO con el fin de asegurar la disponibilidad del residuo.
- Protección de la propiedad intelectual, es decir, estudio de patentabilidad y fases posteriores del proceso de protección industrial.
- Formulación de un Plan de Negocio.
- Desarrollo de la ingeniería de detalle, lo cual incluye mejoramiento de la tecnología desarrollada, en aspectos puntuales.
- Prospección y promoción comercial del producto obtenido del proceso: concentrado de metales.



## **APENDICES**

## APENDICE A.

Se presentan a continuación los principales resultados obtenidos con el proceso de fusión reducción.

Tabla A.1.- Resultados Fusión reducción.

Muestra	Au Kg/Ton	Ag Kg/Ton	Pt g/Ton	Pd g/Ton	Rh g/Ton	Ru g/Ton	% As	% Sb	% Cu	% Pb	% Se	% Te
MMP-1	2,6	59,77	0,50	32,22	0,30	0,00	1,58	15,05	14,66	21,00	4,33	1,50
ESFP-1	0,013	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	4,08	0,54	0,74	0,28	0,021
MMP-2	2,22	82,89	0,50	44,74	0,25	0,00	0,69	14,45	22,34	23,65	5,89	2,03
ESFP-2	0,01	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	6,73	0,34	0,38	0,19	0,025
MMP-3	0,99	100,44	3,00	17,00	0,80	4,20	10,63	21,48	12,92	29,04	0,31	1,05
ESFP-3	0,0032	8,47	0,00	0,00	0,78	1,63	25,63	3,52	1,75	2,65	0,08	0,17
MMP-4	0,80	90,22	2,50	20,00	0,55	4,20	25,48	14,54	33,00	27,44	0,44	1,97
ESFP-4	0,01	5,00	0,00	0,00	0,43	3,08	28,41	5,72	3,34	5,52	0,08	0,39
MMP-5	0,86	85,32	2,00	15,00	0,60	3,90	1,61	10,90	26,50	25,00	0,67	3,31
ESFP-5	0,03	3,00	0,00	0,00	0,43	4,20	30,87	9,94	2,79	3,05	0,05	0,37
MMP-6	0,25	30,05	1,5	12	0,65	3,8	51,25	31,22	14,67	30,00	0,28	1,64
ESFP-6	0	0,5	0,00	0,00	0,43	2,33	26,51	4,06	1,77	2,12	0,07	0,29
MMP-9	0,82	86,35	2,00	14,00	0,00	0,00	6,93	24,90	13,98	30,40	0,25	0,80
ESFP-9	0,004	3,55	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	1,41	7,49	0,25	0,13	0,21
MMP-12	0,90	76,32	2,50	16,25	0,00	0,00	4,39	24,99	17,93	31,40	0,38	0,98
ESFP-12	0,05	2,05	0,00	0,00	0,00	0,00	16,76	8,24	6,91	0,39	0,08	0,07
MMP-15	0,98	79,48	2,50	21,00	0,00	0,00	3,81	24,61	14,26	32,70	0,36	1,00
ESFP-15	0,04	1,65	0,00	0,00	0,00	0,00	28,73	15,51	0,30	0,45	0,07	0,04
MMP-18	0,67	70,47	2,25	15,00	0,00	0,00	3,06	18,04	20,89	28,80	0,6	1,47
ESFP-18	0,003	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,87	13,72	0,27	0,40	0,04	0,04

Se presentan a continuación los principales resultados obtenidos con el proceso de oxidación

Tabla A.1.- Resultados Oxidación.

Muestra	Au Kg/Ton	Ag Kg/Ton	Pt g/Ton	Pd g/Ton	Rh g/Ton	Ru g/Ton	% As	% Sb	% Cu	% Pb	% Se	% Te
MMPOx-3-18 Inicial	0,97	87,18	0,60	18,00	0,68	1,30	4,10	24,39	15,16	32,68	0,25	1,26
ESFPOx-3- 18 inicial	0,0006	6,49	0,00	0,00	0,78	1,53	12,40	17,13	2,84	39,83	0,09	0,31
MMPOx-3-18 (1,5 hrs)	0,92	87,16	2,75	15,50	0,00	0,00	4,20	19,80	16,80	31,20	0,31	1,62
ESFPOx-3- 18 (1,5 hrs)	0,06	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	7,94	0,98	1,35	0,78	0,11	0,23
MMPOx-3-18 (2,0 hrs)	1,08	92,00	3,50	21,00	0,00	0,00	2,37	23,60	15,10	32,60	0,25	1,50
ESFPOx-3- 18 (2,0 hrs)	0,0015	3,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	9,10	11,20	22,50	0,32	1,07
MMPOx-3-18 (2,5 hrs)	0,95	90,18	0,90	19,00	0,62	1,20	2,37	21,52	19,64	32,85	0,43	2,40
ESFPOx-3- 18 (2,5 hrs)	0,0034	4,06	0,00	0,00	0,60	1,80	3,70	17,55	0,38	13,09	0,04	0,04

**PROMESA CONVENIO PARA LA EJECUCION DE UN PROYECTO DE INNOVACION CON RECURSOS DEL COMITE "FONDO NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLOGICO Y PRODUCTIVO" DE CORFO, FONTEC.**

En Santiago, a 9 de Julio de 2003, entre FUNDACION CHILE, RUT: 70.300.000-2, representada para estos efectos por su Director General don Eduardo Bitrán Colodro, ambos domiciliados en Avda. Parque Antonio Rabat Sur N° 6165, Vitacura, Santiago, por una parte, y por la otra, la empresa FORJADOS S.A., RUT: 96.896.640-5, representada por don Enrique Heine Salinas, ambos domiciliados en Panamericana Norte 22650 Lampa, en adelante "La Empresa", se ha convenido lo siguiente:

**PRIMERO:** FORJADOS S.A. presentará al COMITE "FONDO NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLOGICO Y PRODUCTIVO" de la Corporación de Fomento de la Producción, FONTEC, el proyecto "Nueva Tecnología Limpia para la Recuperación de Metales Nobles desde Escorias de Fusión", con el objeto de obtener un financiamiento parcial para su ejecución.

**SEGUNDO: PARTICIPACION DE FUNDACION CHILE EN EL PROYECTO.** Considerando que el objetivo principal del contrato es la ejecución del Proyecto antes mencionado, por este acto FUNDACION CHILE declara su interés en participar como ejecutor, junto a la empresa FORJADOS S.A. en dicho Proyecto, desarrollando actividades específicas en la investigación y desarrollo de la tecnología.

La participación se materializará con investigadores e ingenieros especialistas de FUNDACION CHILE, en el desarrollo de las actividades, además de una instancia técnica de colaboración permanente con los ingenieros de la empresa, que deberá definirse una vez aprobada la subvención por parte de CORFO.

**TERCERO: VIGENCIA DEL CONTRATO.** La vigencia del presente convenio queda sujeta a la condición que CORFO apruebe favorablemente el Proyecto. Una vez que se cumpla la mencionada condición, comenzará a regir el contrato definitivo y su duración dependerá de la duración del Proyecto, el cual está planificado para desarrollarse en un plazo estimado de 18 meses. Respecto de la información confidencial expresada en la Cláusula Quinta, queda expresamente establecido que para este punto la vigencia del contrato comienza con la firma de éste por ambas partes.

Una vez que el proyecto sea adjudicado por CORFO, las partes suscribirán un contrato en el cual se detallará el contenido definitivo de las actividades a ser desarrolladas, las garantías a entregar para el desarrollo del trabajo y las formas de

participación en el negocio de las partes. FUNDACION CHILE se reserva el derecho de retirar su apoyo al proyecto adjudicado, en el evento que no exista acuerdo respecto del mencionado contrato.

**CUARTO: PROPIEDAD DE LOS PRODUCTOS Y DESARROLLOS DEL PROYECTO.** En el evento de cumplirse la condición señalada en la cláusula precedente, es decir, la ocurrencia de adjudicación del proyecto, las partes se comprometen a firmar un contrato definitivo, el cual detallará entre otros aspectos lo siguiente:

- **Producto final y Royalty:** El servicio de procesamiento de escorias para la recuperación de metales, usando la tecnología desarrollada en el proyecto, será propiedad y responsabilidad de la empresa FORJADOS S.A.. A su vez, la empresa se compromete a entregar un royalty a FUNDACION CHILE, por un plazo de 10 años, equivalente a un porcentaje de las ventas por el servicio de recuperación de metales a la empresa proveedora de las escorias. Este royalty será un ítem del costo de operación del proyecto, de modo que se asegure el pago del royalty aún sin utilidades de la empresa. El valor se expresa como un 19,36% sobre las utilidades anuales de explotación (esta última definida por definido como la resta entre los ingresos y los egresos sin considerar la depreciación y que incorpore la amortización del capital). Las condiciones de pago de dicho royalty se detallarán en el contrato definitivo. En caso de existir entre las partes controversia respecto de la contabilidad, se solicitará una auditoría externa cuyo resultado será definitivo y aceptado por ambas partes.
- **Propiedad de la Tecnología:** Los eventuales derechos de propiedad industrial derivados del proyecto se regularán por las estipulaciones contenidas en el convenio celebrado entre la empresa y el Comité Fondo Nacional de Desarrollo Productivo y Tecnológico de la Corporación de Fomento de la Producción. Sin perjuicio de lo anterior, las partes establecen que la propiedad de dichos eventuales privilegios serán de dominio de FORJADOS S.A., en un 50% y de FUNDACION CHILE en un 50%. La estrategia de comercialización de esta tecnología se determinará de común acuerdo entre las partes.
- **Publicidad producto final:** La publicidad y el producto final destacará que se trata de un producto desarrollado en conjunto con FUNDACION CHILE; la forma, tamaño, frecuencia y otros aspectos de la referida publicidad estarán a cargo de la empresa; sin perjuicio de lo cual FUNDACION CHILE podrá hacer las sugerencias que estime pertinentes.

Con todo, es voluntad de las partes, dejar expreso testimonio que el anexo mencionado en el párrafo precedente se apoyará en los principios de buena fe, cooperación, solidaridad y complementación, que permitan un beneficio razonable para cada parte en el potencial negocio que se desarrollará a partir del proyecto que motiva el presente contrato.

**QUINTO: COSTO DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:** La empresa pagará a FUNDACION CHILE por el desarrollo del producto la suma de \$71.735.732 (setenta y un millones, setecientos treinta y cinco mil, setecientos treinta y dos pesos, o el 71% del monto definitivo asignado por FONTEC al proyecto). La forma de entrega se detallará en el contrato final. La empresa conviene, como estipulación esencial de la presente promesa, que el aporte será enterado a FUNDACION CHILE en la cantidad, tiempo y forma convenida, toda vez que reconoce que tal circunstancia es imprescindible para la cabal y oportuna ejecución del proyecto que ha encomendado. Si la empresa no diere cumplimiento a esta obligación, FUNDACION CHILE estará facultado para suspender de inmediato la ejecución de los trabajos, hasta que la situación fuere subsanada, sin ulterior responsabilidad para éste último.

**SEXTO: TERMINO ANTICIPADO:** Si la Corporación de Fomento de la Producción pusiere término anticipado al convenio celebrado con la empresa en relación al proyecto, o bien éste último retrasara el integro de cualquiera de los aportes señalados en la cláusula quinta del presente contrato por más de treinta días, FUNDACION CHILE podrá dejarlo sin efecto en el acto, notificando su decisión a la empresa mediante carta certificada enviada a su domicilio y expedida con una anticipación de a lo menos cinco días.

En tal caso, la empresa deberá pagar a FUNDACION CHILE la suma que corresponda a todos los gastos ocurridos en la ejecución del proyecto hasta el momento de la notificación, de acuerdo a una liquidación que practicará FUNDACION CHILE para este especial efecto y cuyo importe deberá ser cancelado por la empresa dentro de los diez días siguientes de enviada la respectiva factura o nota de cobro.

**SEPTIMO: CONFIDENCIALIDAD DE LA INFORMACION:** Las partes acuerdan que toda información que sea revelada por una de las partes a las otras, a través de las reuniones periódicas que entre las partes se celebren o se hayan celebrado, ya sea en forma oral o escrita a través de documentos, registros, contratos, libros de contabilidad, bosquejos, folletos, soportes computacionales y, en general, a través de cualquier procedimiento o forma en virtud de las cuales se haga posible tomar conocimiento de tal información, tendrá carácter confidencial. En virtud del carácter confidencial que tiene la información, las partes se obligan a:

- a) No revelar ni distribuir bajo forma alguna, directa e indirectamente, la información e impedir que las personas vinculadas a él y que en virtud de esta acuerdo de intención tengan acceso a tal información, lo revelen o distribuyan

por algún medio, salvo autorización expresa entregada por todas la partes suscriptoras del presente acuerdo.

- b) No usar la información, directa o indirectamente a través de personas naturales o jurídicas vinculadas o relacionadas, con otro objeto que el considerado para evaluar técnica y económicamente el proyecto y su potencial de negocios, con fines de establecer un joint venture entre las partes.
- c) Proporcionar la información sólo a las personas que sea estrictamente necesario para los fines previstos en esta acuerdo de intención.
- d) Tomar todas las medidas necesarias para que la información mantenga el carácter confidencial y se eviten situaciones y actos que puedan producir un perjuicio a las partes o sus contrapartes empresariales.
- e) Las partes se obligan a mantener la confidencialidad de la información, en los términos expresados en el numeral precedente, durante 2 (dos) años a partir de esta fecha, a menos que medie autorización escrita por una de las partes para utilizar parte o la totalidad de la misma con anterioridad a este plazo, por la otra.

**NOVENO: ARBITRAJE.** Cualquier dificultad que pueda surgir entre las partes en relación con la interpretación, aplicación, cumplimiento o terminación de este contrato, será resuelta en única instancia y sin ulterior recurso por el árbitro que de común acuerdo designen las partes, quien actuará como árbitro arbitrador. Si las partes no estuvieren de acuerdo en la designación de un árbitro, su nombramiento será hecho por el Juez Civil de Mayor Cuantía de Santiago que estuviere de turno al solicitarse el nombramiento, pero en tal caso el árbitro será arbitrador en el procedimiento y de derecho en el fallo.

**DECIMO:** Las partes comparecientes fijan su domicilio en Santiago y prorrogan competencia para ante sus tribunales de justicia.

**DECIMO PRIMERO:** El presente instrumento se otorga en tres ejemplares, quedando uno en poder de la empresa y dos en poder de FUNDACION CHILE.

En conformidad a lo cual firman;

Eduardo Bitrán C.  
Director General  
Fundación Chile



Enrique Heine Salinas  
Representante legal  
Forjados S.A.