

**MODERNIZACIÓN DE LA
FUNDICIÓN DE ESTAÑO
DE VINTO
PROCESO AUSMELT**

Presentado a:

**CONGRESO NACIONAL DE METALURGIA
Y CIENCIA DE MATERIALES**

Por:

Jorge Lema Patiño

**Oruro – Bolivia
Julio 2006**

MODERNIZACIÓN DE LA FUNDICIÓN DE ESTAÑO DE VINTO

TABLA DE CONTENIDOS

- 1. Resumen**
- 2. Desarrollo de la Tecnología de Fundición de Estaño en Bolivia**
 - 2.1. Fundición Tradicional de Estaño en Bolivia**
 - 2.2. Fundición de Estaño de Alta Ley**
 - 2.3. Fundición de Estaño de Baja Ley**
- 3. Antecedentes del proceso Ausmelt**
 - 3.1. Desarrollo del Ausmelt Aplicado a los Concentrados de Estaño**
 - 3.2. Yunnan Tin Corporation en la RP China**
 - 3.3. Funsur (Minsur) en el Perú**
- 4. Proceso Ausmelt recomendado para la Fundición de Vinto**
 - 4.1. Premisas del Diseño**
 - 4.2. Esquema del Proceso**
 - 4.3. Fundición de Concentrados**
 - 4.3.1. Reducción Primaria**
 - 4.3.2. Reducción Secundaria**
- 5. Reciclado de Polvos**
- 6. Conclusiones y Recomendaciones**
- 7. Bibliografía**

MODERNIZACIÓN DE LA FUNDICIÓN DE ESTAÑO DE VINTO

1. Resumen

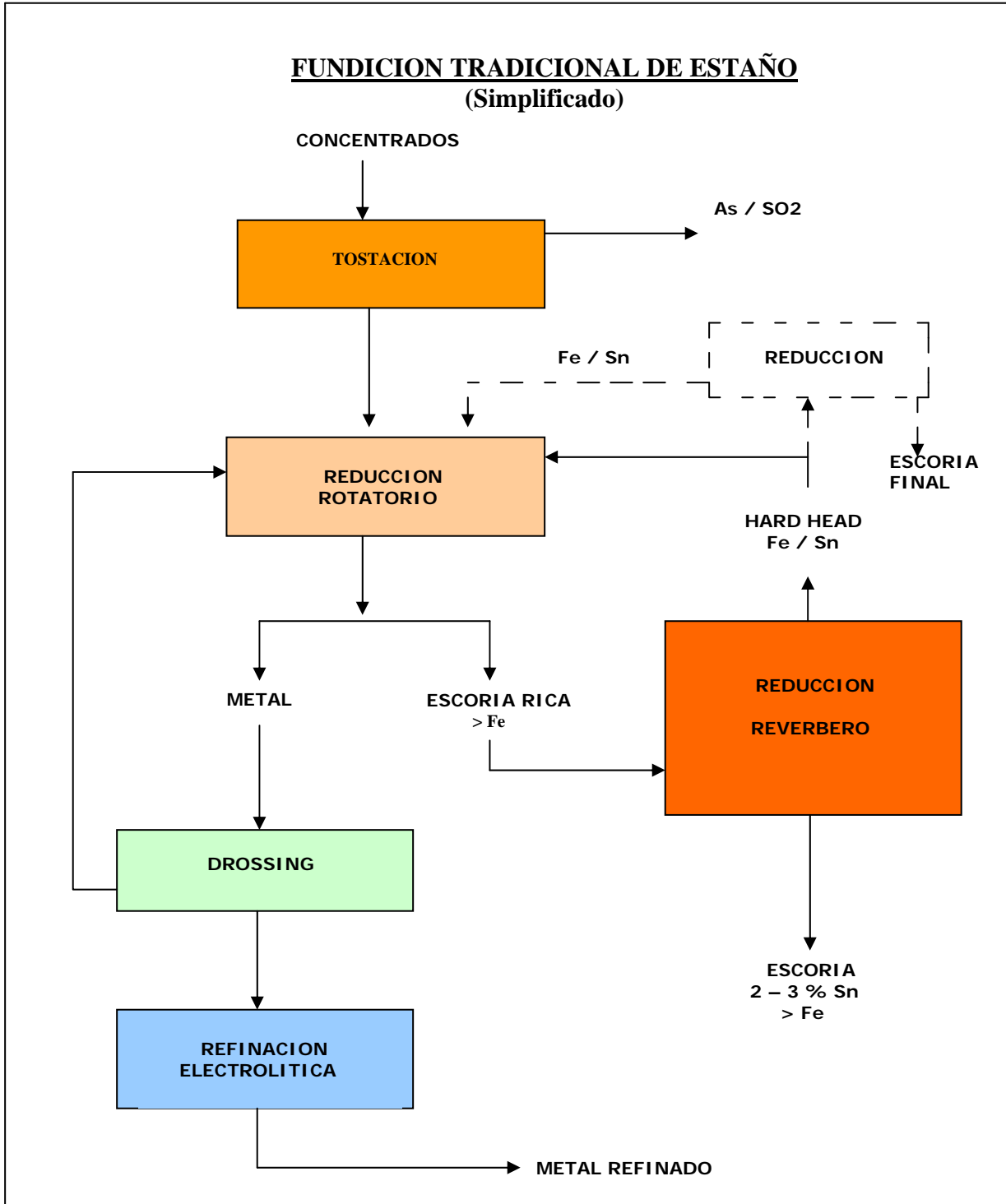
En el presente documento se efectúa una breve reseña de los avances tecnológicos logrados en Bolivia para el procesamiento de los concentrados de estaño de media y alta ley. Con la instalación de la primera fase de la Fundición de estaño en Vinto, se da inicio a la moderna fundición de estaño en Bolivia; se explica la necesidad de introducir el proceso Ausmelt para modernizar la tecnología de esta importante planta metalúrgica y hacerla competitiva internacionalmente, manteniendo los sistemas de refinación existentes.

2. Desarrollo de la Tecnología de Fundición de Estaño en Bolivia

2.1. Fundición Tradicional de Estaño en Bolivia

Durante la década de los 40' se instaló la Fundición Perú (Oruro) en base a hornos rotatorios, aunque el proyecto inicial contemplaba un horno eléctrico para reducir los concentrados de alta ley. En la fundición Perú no se requería del proceso previo de tostación por tratarse concentrados de alta ley libre de mayores impurezas. Asimismo, se empleó el sistema de refinación térmica y posteriormente la refinación electrolítica en base al ácido hidro fluor silícico. En esa misma época, el Ing. Salezky introdujo la técnica de volatilizar minerales de estaño de baja ley en un horno rotatorio de “tambor largo”, empleando la pirita como agente sulfurizante, demostrándose por primera vez en Bolivia la aplicación de la tecnología de volatilización. Posteriormente, en la ex Metabol se instalaron 4 hornos rotatorios de “tambor corto”, para reducir los concentrados de alta ley. Todos estos procesos descartaban escorias de alta ley y la recuperación total no alcanzaba al 90%, debido a la producción de escorias de alta ley y materiales intermedios de difícil tratamiento.

Grafico 1: Fundición Tradicional de Estaño

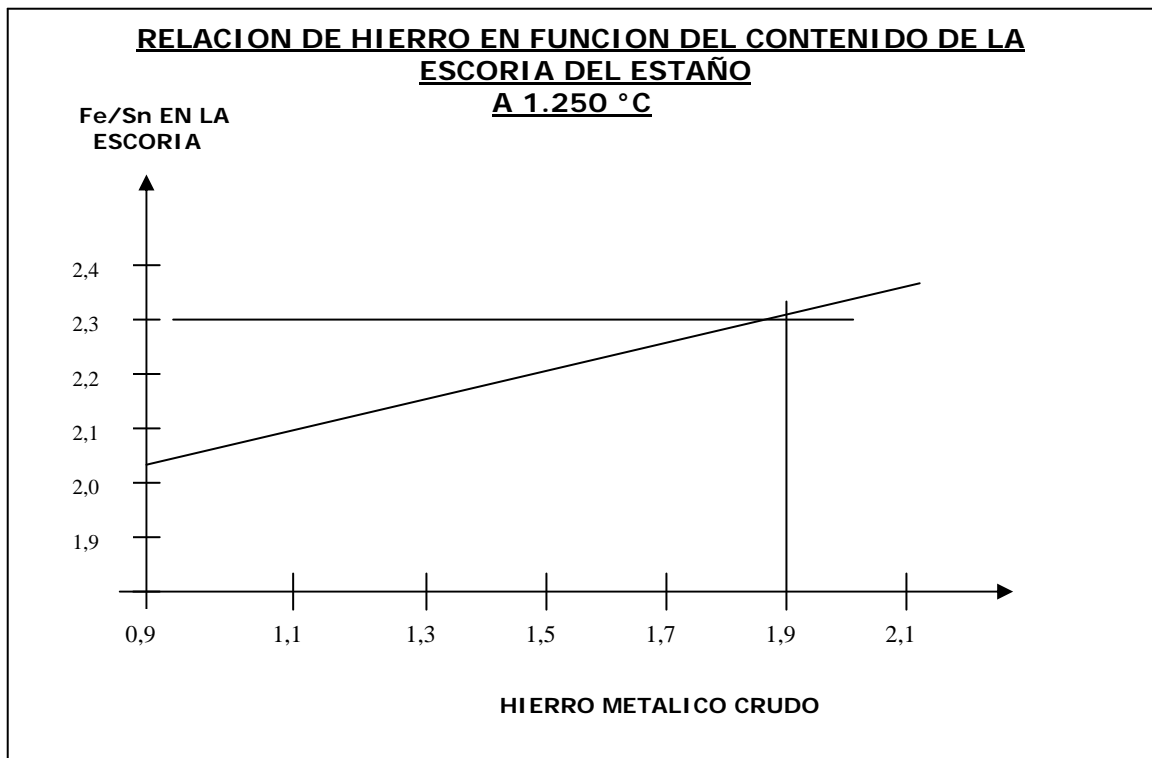


El Gráfico 1 describe el sistema tradicional de fundición de estaño que estuvo vigente hasta fines de los 60'. Las Fundiciones Capper Pass y Williams Harvey en Inglaterra y la Fundición de estaño en Siberia (ex URSS) y la Metallgesellschaft en Alemania eran las mas avanzadas en su época. La primera procesaba materiales complejos en un horno de Cuba. Las segundas contaban con el proceso de volatilización y la fundición de Siberia disponía de hornos de volatilización directa de minerales de baja ley.

Mientras que en Bolivia, recién en 1968, los ingenieros P. Wright y Miguel Tejada decidieron construir el primer horno de volatilización "tipo Kolodin", trabajo realizado por ingenieros bolivianos en los predios de la ex Metabol. Este horno circular era enfriado por una película de agua aplicada desde el exterior.

El objetivo principal era resolver la producción no deseable de hard head cuando la reducción en el proceso era alta. En efecto, hasta la introducción del horno de volatilización para procesar escorias, en el proceso de reducción se producía el hard head o cabeza dura, - compuesto de estaño-hierro que debía ser re-circulado - y de este proceso - de varias etapas - se obtenía un metal con elevado contenido en hierro que dificultaba la refinación y se producía una cantidad elevada de subproductos que re-circulaban en la Fundición. El **Diagrama** siguiente muestra la relación de Fe/Sn en la escoria frente al hierro en el metal.

Diagrama Fe/Sn



2.2. Fundición de Estaño de Alta Ley

Con la instalación de la Fundición de Estaño de Vinto por la empresa Klockner de Alemania, se da inicio a la moderna metalurgia en el país, incorporando el horno Fuming y la electrólisis del estaño en base al cresol sulfónico.

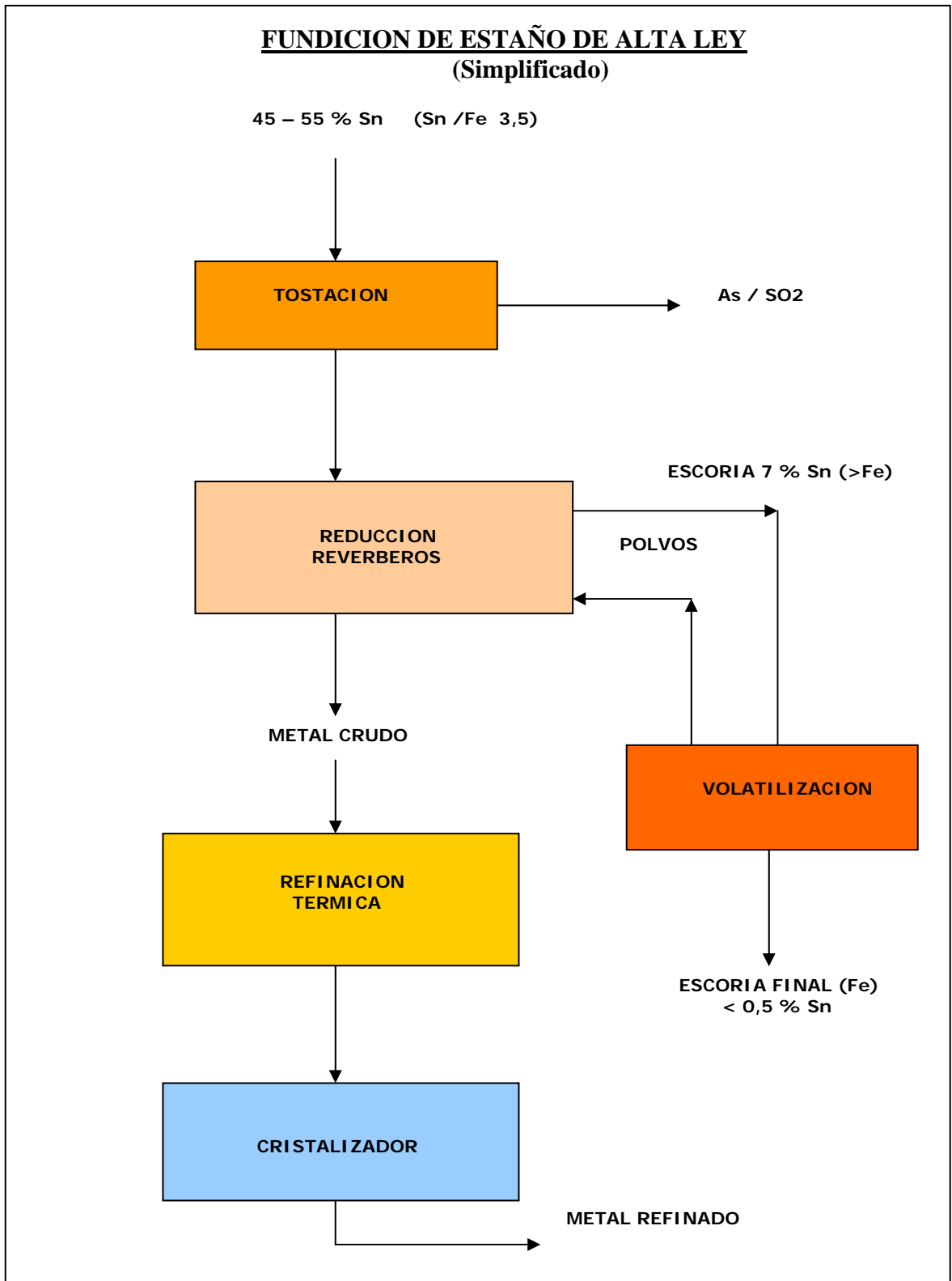
Esta Fundición fue construida (1970 al 1975) por etapas hasta alcanzar la capacidad actual de aprox. 48,000 tons anuales de concentrados de Alta Ley (45 – 55%Sn). Dispone de dos hornos de tostación de 7 y 9 pisos; de cuatro hornos reverberos (36 y 54m²) actualmente ineficientes por su baja eficiencia térmica y de tres hornos de volatilización de 30 hasta 60 tons/día cada uno.

Inicialmente se dispuso de la refinación electrolítica en base al cresol sulfónico, mejorado por los propios ingenieros de ENAF mediante el cambio al cresol fenol sulfónico que dio un producto de alta calidad internacional (99.98 %Sn) con marca registrada en el LME. Posteriormente (1989), se introdujo la refinación por cristalizador de la Yunnan Tin Corporation (tecnología de la RP China) y se modificaron los hornos para reemplazar el diesel por gas natural de mayor rendimiento y menor costo.

Esta planta está diseñada para procesar concentrados con contenidos flexibles en hierro, según:

% Sn	R Sn/Fe
25-51	1.40-3.71

Gráfico 2: Fundición de Estaño de Alta Ley

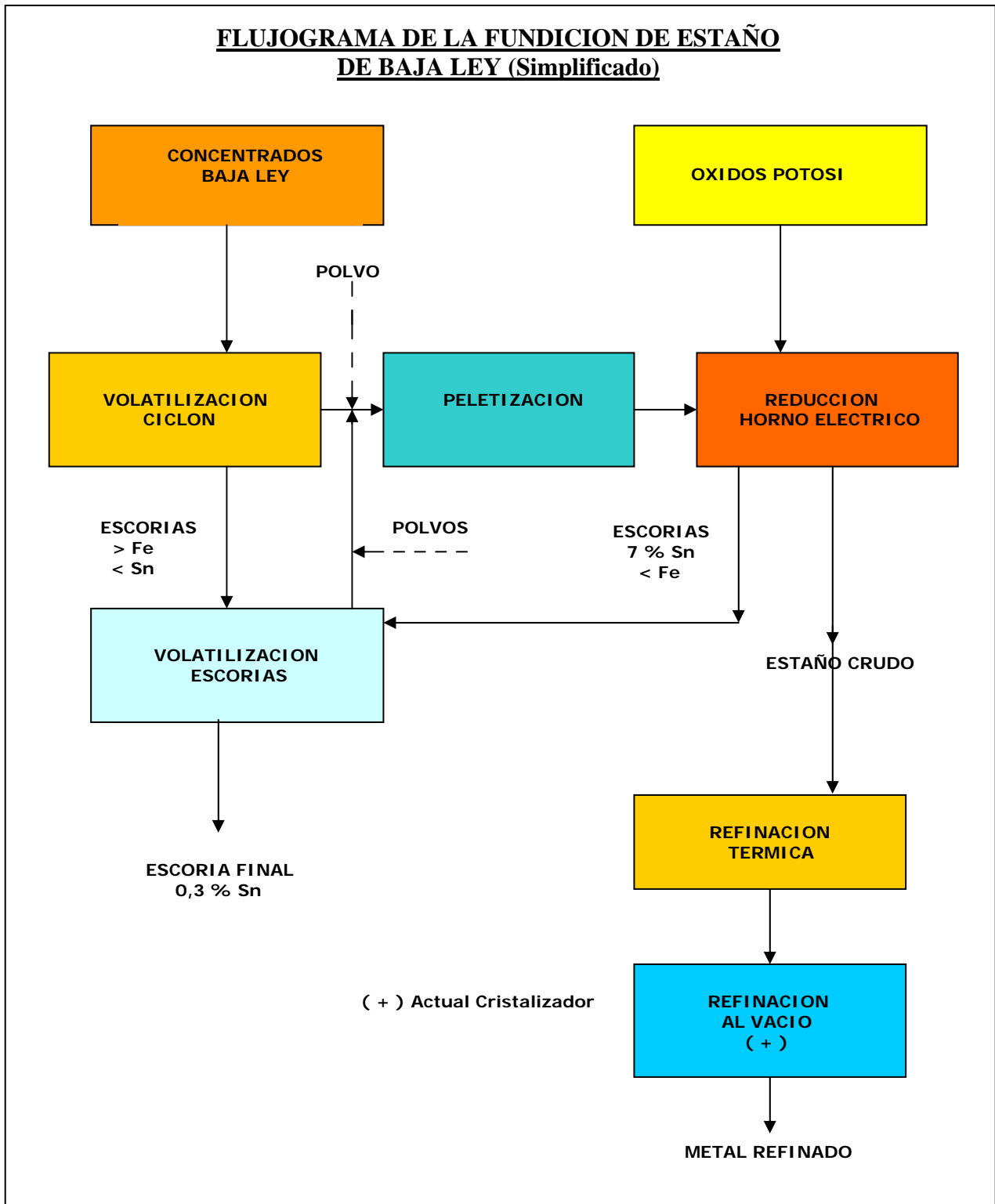


La fundición de alta ley fue considerada la más avanzada tecnológicamente hasta finales de la década de los '80, especialmente por el éxito alcanzado en el proceso de volatilización, con escorias finales del 0.3% Sn.

2.3. Fundición de Estaño de Baja Ley

Esta planta fue diseñada por la Klockner y la activa participación en su concepción por técnicos bolivianos (J. Lema; R. Torrico) y rusos (Suturin); Para tratar diversos materiales de media y baja ley atendiendo a las necesidades de Comibol de procesar los polvos de estaño que deberían ser provistos por la Planta de Volatilización de La Palka en Potosí, además de concentrados de baja ley de los ingenios de Comibol. Esta planta implemento tecnologías de avanzada como el horno ciclón (80 tpd) para procesar los minerales de baja ley, para este efecto se realizaron pruebas piloto en el “Instituto de Investigaciones de Metales de Praga” y en la Universidad de Aachen (ex Alemania Oriental); del horno eléctrico (3.300 KVA) con capacidad de 48.7 tpd, para reducir directamente los polvos de la Palka y otros materiales óxidos recirculantes; y el horno de volatilización de alta capacidad, 80 tpd, según se muestra en el gráfico.

Gráfico 3: Fundición de Estaño de Baja Ley



Esta Fundición de Baja Ley fue diseñada para una capacidad de producción metálica de 10,000 tpa, procesando 5,000 tons de polvos (55%Sn; 1.5%Fe) y 25,000 tons de minerales de baja ley (26%Sn; 20%Fe). Como se aprecia esta fundición tiene un alto nivel de flexibilidad para recibir minerales con altos contenidos en hierro, constituyéndose única en su género en el ámbito internacional.

Tabla 1: Relación Estaño – Hierro en la Alimentación

Relación	Sn/Fe	Promedio
Media Ley	0.97 – 3.71	3.39
Baja Ley	0.90 - 1.80	1.43

Una particularidad de esta planta es que el horno de volatilización puede cargar un 70% de carga sólida directa. El metal debería ser refinado inicialmente por los sistemas de refinación térmica y al vacío desarrollados por Machinoexport de la ex Unión Soviética y de Paúl Bergsoe de Dinamarca. La tecnología de refinación térmica y al vacío permitía refinar un metal crudo con elevadas impurezas según:

Tabla 2: Metal Crudo Esperado en la Baja Ley

%Sn	%Sb	%As	%Pb	%Cu	%Bi	%Fe	%Zn
85-90	2.5	3.5	2.5	0.5	0.4	0.5	0.5

Como se aprecia, la refinación tiene la tecnología para eliminar impurezas elevadas en plomo, bismuto con altos contenidos en antimonio.

Debido a que la Palka no inició en forma continua sus operaciones, fue necesario utilizar las instalaciones de la Baja Ley como apoyo a la Fundición de Alta Ley de Vinto, y procesar directamente en el horno eléctrico los concentrados de alta ley. La refinación al vacío ha sido reemplazada (1992) por el cristalizador chino y se introdujo el gas natural como carburante a toda la planta.

La refinación con el cristalizador chino coloca a Vinto junto a la Fundición de Minsur y de la Yunnan Tin Corp. entre las más modernas. Sin embargo la eficiencia de esta planta ya no es competitiva con el proceso Ausmelt también instalado en las fundiciones mencionadas.

3. Antecedentes del Proceso Ausmelt

3.1. Desarrollo del Ausmelt Aplicado a los Concentrados en la Fundición de Estaño

El proceso Ausmelt fue concebido a principio de los años 70 por el profesor John Floyd y desarrollado en Australia. Este sistema fue desarrollado inicialmente para procesar concentrados de estaño y posteriormente se mostró su aplicación en la metalurgia del cobre y en el tratamiento de escorias y residuos de zinc. En la metalurgia del estaño es empleado con éxito en:

3.2. Yunnan Tin Corporation en la RP China

La única fundición Ausmelt instalada por la Yunnan Tin Corporation procesa 50,000 toneladas anuales de concentrado de estaño y de materiales de re-circulante, para producir aproximadamente 25,000 toneladas anuales de producto de estaño de la Marca YT. El horno Ausmelt puesto en marcha en el año 2002 reemplazó 7 hornos reverberos. La planta alcanzó producción a plena capacidad dentro de las seis semanas de la puesta en marcha y se encuentra en operación en la capacidad diseñada.

3.3. Funsur (Minsur) en el Perú

Se realizó un trabajo de desarrollo preliminar para Funsur, incluyendo pruebas de laboratorio, estudios de pre-factibilidad, estudios de factibilidad, programas de pruebas en planta piloto y estudios de diseño.

Funsur comisionó a Ausmelt para el diseño de una fundición de estaño para el tratamiento de 30,000 tpa de concentrados de estaño y recientemente ha expandido a 50,000 tpa mediante el enriquecimiento del aire con oxígeno. La planta está en operación por 6 años y generalmente se la reconoce como una de las mejores en el mundo.

4. Proceso Ausmelt Recomendado para la Fundición de Vinto

En base a la información existente sobre los concentrados disponibles, se ha concebido el siguiente esquema para modernizar la Fundición de Vinto:

La Planta propuesta consistirá en un único horno Ausmelt TSL. Un resumen de la composición promedio de estos materiales de alimentación se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Resumen de la Composición de Material de Alimentación

	% Sn	%S	%As	%Sb	%Zn	%Fe	%Pb	%Bi	%Cu	SiO ₂	Al ₂ O ₃
RBG Huanuni	58.87	4.95	0.31	0.03	0.06	6.22	0.06	0.08	0.09	9.52	4.42
Colquiri	42.43	7.94	0.28	0.02	2.34	14.16	0.07	0.04	0.05	17.56	3.51
Cooperativas	61.38	5.25	0.11	0.02	0.26	4.85	0.05	0.1	0.06	5.42	3.11
Comercializadoras	60.22	4.26	0.25	0.04	0.25	4.47	0.09	0.21	0.06	7.52	4.02
Minería Mediana	61.53	2.64	0.32	0.04	0.13	4.02	0.21	0.44	0.02	8.39	3.92
Minera Chica	45.42	5.16	0.38	0.03	0.13	6.86	0.06	0.06	0.1	7.55	4.1
*Promedio	55.18%	5.49%	0.26%	0.03%	0.68%	7.49%	0.07%	0.11%	0.07%	10.21%	3.85%

*El promedio estimado para sulfuro en el concentrado difiere de la data proporcionada por Vinto (7.03%).

Se propone el uso de carbón vegetal como carbón reductor para el proceso. El análisis del carbón vegetal se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Análisis de Carbón Vegetal

Análisis Aproximado	%
Carbón Fijo	72.3
Volátiles	16.9
Cenizas	9.8
Humedad	8.3
Tamaño requerido	+10-25mm

El carburante utilizado para el proceso será el gas natural. Se utilizará la infraestructura disponible para suministro, almacenaje adecuado y confiable de carbón vegetal, flujo de piedra caliza, energía eléctrica y agua.

Se espera producir un metal crudo de la siguiente composición para su refinación posterior por vía térmica/cristalizador:

Tabla 5: Análisis, Refinación del Estaño Subproducto

Refinación Térmica %	Sn	S	As	Sb	Pb	Bi	Cu	Fe
Metal Crudo	> 96	0.01	0.55	0.41	0.90	0.30	0.89	1.42
Metal Térmico	98.66		0.05	0.05	1.00	0.23		
Cristalizador	Sn	S	As	Sb	Pb	Bi	Cu	Fe
Metal Térmico	98.66		0.01	0.05	1.00	0.23		
Metal Refinado	99.96			0.018				
Sn/Pb/Bi	80.60		0.05	0.01	16.45	2.70		

Sub Products %	Sn	S	As	Sb	Pb	Bi	Cu	Fe
Cenizas de Cobre	53.50	3.00	0.14	0.40	0.85	0.48	19.50	
Na/As Drosses	71.70		13.00	0.96	0.24	0.18	0.06	
Sb/Al Drosses	76.40		0.55	4.55	0.68	0.20	0.09	
Cenizas Na/Al	81.90		0.27	0.27	0.36	0.35	0.12	

4.1. Premisas del Diseño

La introducción del proceso Ausmelt en la Fundición de Vinto se sustentaría en las siguientes premisas:

- La capacidad máxima de procesamiento de la Planta será de aproximadamente 29,000 toneladas secas por año de concentrados de estaño;
- Se utilizará gas natural como carburante para la lanza del Ausmelt;
- Se utilizará carbón vegetal como reductor para la operación;
- No se ha considerado necesario el enriquecimiento de oxígeno;
- Un periodo de operación conservador de 300 días;
- Se utilizaría el sistema de manipuleo existente de la alimentación, del producto y del gas;
- Todos los servicios (aire comprimido, agua, gas natural) estarán disponibles en una calidad y cantidad suficiente como para operar la fundición bajo estándares aceptables;
- Estaño crudo será transferido a la refinería existente para su refinación vía térmica y refinación.
- Escorias coladas del horno serán granuladas o vertidas en moldes para su venta o desechado.
- Todos los polvos serán colectados en el sistema de manejo de gas y reciclados al horno Ausmelt.

4.2. Esquema del Proceso

En base a lo indicado, se dispondrá de una Planta que produzca 16,000 toneladas anuales de estaño crudo adecuado para su posterior refinación, según las etapas indicadas en la **Tabla 5**.

La tecnología Ausmelt cumple con los requerimientos de procesamientos de Vinto, debido a lo siguiente:

- Permite una producción continua en el sitio de estaño crudo de alta calidad;
- Logra una elevada recuperación directa de estaño a metal, con una recuperación total de 98% al producto de estaño crudo;
- Alcanza un excelente desempeño ambiental al asegurar bajos niveles de polvo y emisiones volátiles;
- Produciendo:
 - estaño crudo con un contenido de estaño mayor a 96%, apto para su refinación posterior.
 - escoria con un bajo contenido de estaño adecuado para ser desechado o vendido.

El sistema Ausmelt propuesto utiliza un único horno que opera bajo un proceso de ciclo de tres etapas. El flujograma del proceso propuesto se muestra en el **Gráfico 5**.

4.3. Fundición de Concentrados

El sistema de manipuleo de la alimentación entrega una alimentación combinada que consiste en:

- Concentrados de estaño
- Flujo de piedra caliza
- Producto de polvos reciclado.

Cada una de estas alimentaciones debe ser pesada y transportada a una mezcladora donde una adición controlada de agua permite la formación de pellets. Esto minimiza que finos secos sean alimentados al horno y sean arrastrados en el offgas. El material preparado es luego alimentado junto con el carbón vegetal, al horno en operación a 1150°C.

La adición de piedra caliza como flujo es utilizada para manejar la temperatura y viscosidad de los líquidos de la escoria.

Durante la etapa de fundición, el estaño es colado del horno a intervalos regulares. La alimentación es añadida en forma continua durante la etapa de fundición. A intervalos regulares, el metal de estaño es colado del horno, sin interrumpir la alimentación. A medida que la fundición progresa, el volumen de la escoria se incrementa hasta que la capacidad del horno es alcanzada. En este punto, se detiene la fundición y comienza la reducción de la escoria.

La operación de colado final del metal está programada para efectuarse justo antes del inicio de la reducción.

4.3.1. Reducción (Primaria)

La etapa de reducción comienza con el volumen de escoria en el baño del horno a su nivel máximo. Con todos los materiales de alimentación, flujo y reciclaje detenidos, los flujos de combustible se ajustan para incrementar la temperatura del baño a su temperatura de operación de 1200°C. Se añade carbón vegetal, asegurando condiciones adecuadas para la remoción de estaño de la escoria a un valor esperado de 5%.

El metal es colado del horno a la conclusión del primer paso de reducción. La escoria reducida producida durante esta operación se mantiene en el horno para mayor reducción en la siguiente etapa.

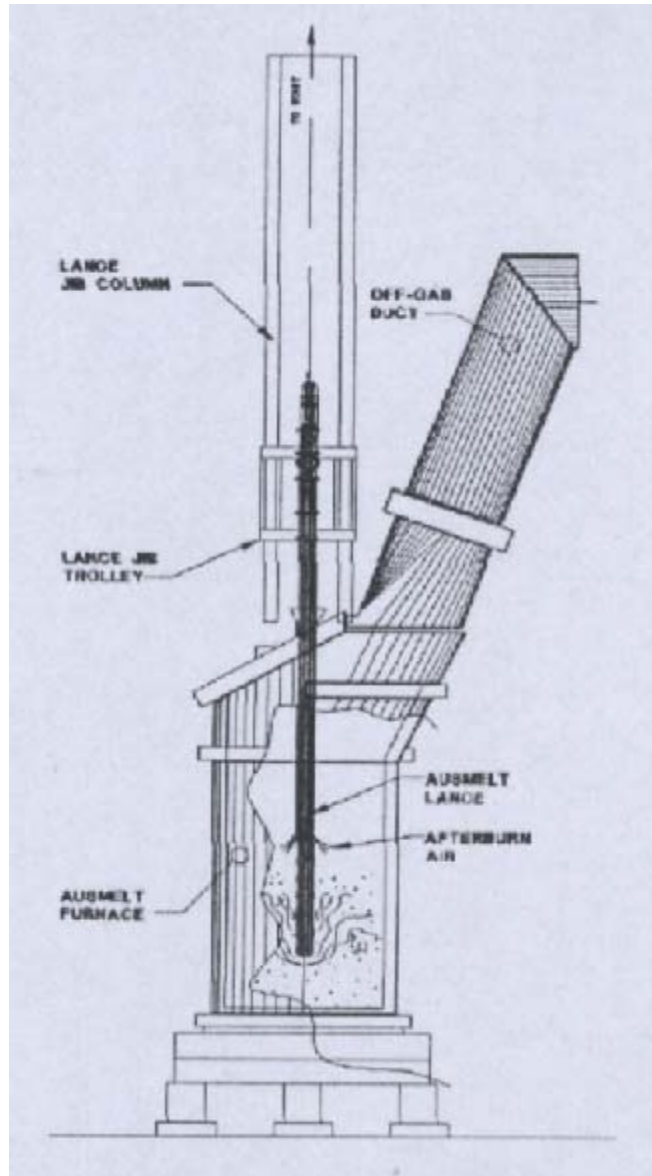
4.3.2. Reducción (Secundaria)

Los niveles de aire en la lanza y combustible son ajustados para calentar y mantener la temperatura de baño de la escoria en 1300°C. Se añade entonces carbón vegetal en forma progresiva para generar un oxígeno potencial apropiado para la reducción de estaño de la escoria a un nivel final

La escoria reducida es colada desde el horno a los moldes o a un sistema de granulación. Una mínima cantidad de escoria se queda en el horno para permitir que comience el siguiente ciclo de fundición.

El metal con elevado hierro/estaño se deja en el horno para que sea diluido durante el subsiguiente ciclo de fundición. Esto permite lograr el equilibrio entre el hierro en el metal y el hierro en la escoria para reducir la cantidad de hierro retirado del horno en el subsiguiente producto de metal

Gráfico 4: Horno Ausmelt



Todas las Etapas (Fundido y Reducciones)
Ocurren en el Mismo Horno

Gráfico 5: *Flujograma Propuesto para la Fundición de los Concentrados de Vinto*

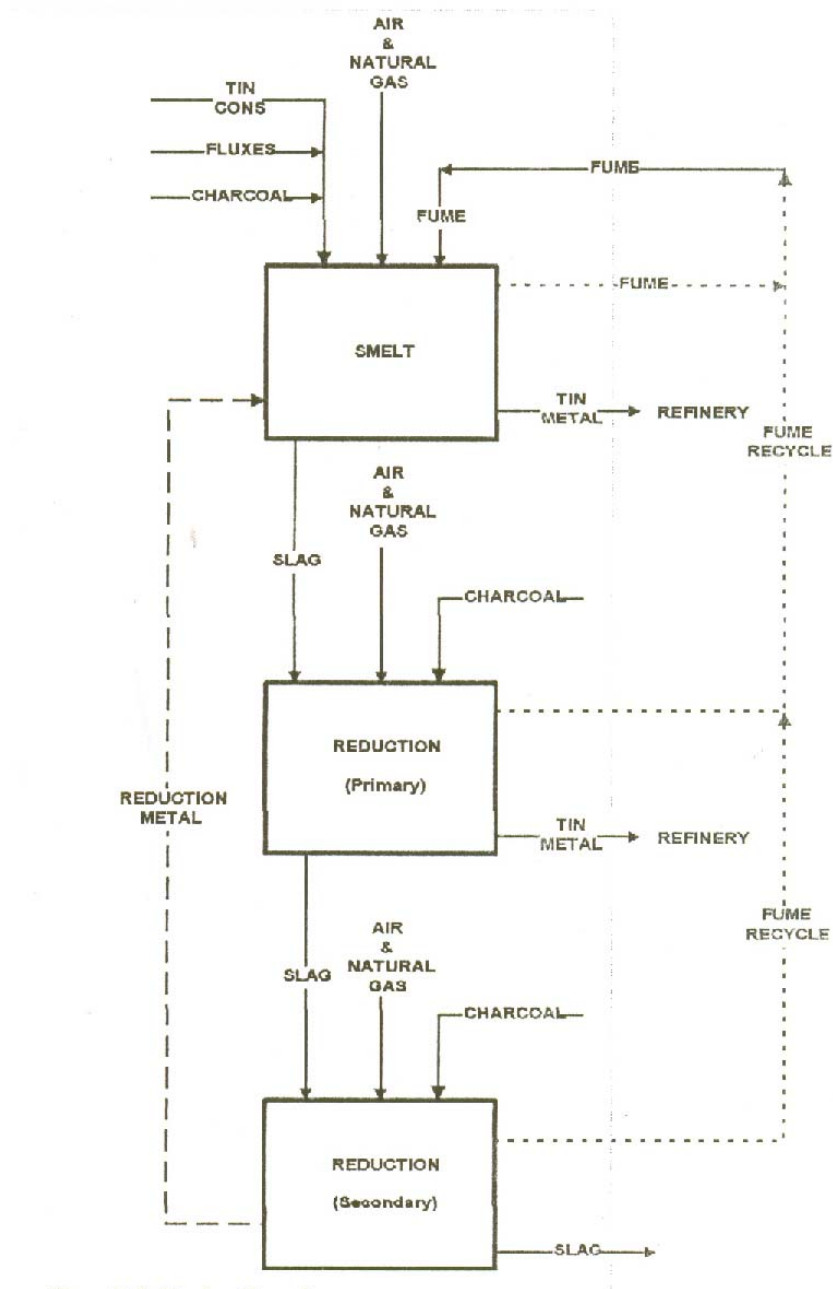


Tabla 6: Resumen del Balance Másico

ENTRADA	T/Annual	%Sn	%S	%Fe	%Zn
Mezcla de Concentrado	29,000	55.2	5.5.	7.5	0.7
Piedra Caliza (52% CaO)	3,400			0.5	
Carbón Vegetal	8,400				
Gas Natural Nm ³ /año)	13,000,000				
SALIDA	T/A	%Sn	%S	%Fe	%Zn
Metal (Fundido)	14,000	98.0		0.4	0.1
Metal (Reducción – Primaria)	2,000	96.0		3.2	0.5
Metal Total	16,000				
Escoria (Reducción – Secundaria)	10,000	1.5		22.0	1.9

5. Reciclado de Polvos

Tanto los polvos de las etapas de Fundición y Reducción (primaria y secundaria) serán combinados y devueltos como material de reciclado. La cantidad de los polvos dependerá del contenido de sulfuro del concentrado. Los de vaporización son proporcionales al nivel de sulfuro de los concentrados y a mayor contenido de sulfuro, mayor la proporción de vaporización, por lo que las cantidades requeridas de reciclado de polvos son mayores. Relaciones mayores de fuming llevan a mayores volúmenes de offgas debido a la necesidad de post combustión del SnS a SnO₂ con la adición de aire de post combustión encima del baño.

La Tabla 7 proporciona la relación de la vaporización indicativa para diferentes niveles en los concentrados.

Tabla 7: Relación de Reciclado de Polvos

%S en Concentrados	% Reciclado de Polvos *
5.5	43
3.0	32
1.0	21

*% de adición de polvos en proporción a la adición de concentrado de Sn

El reciclado de polvos y en consecuencia los volúmenes de off gas pueden disminuirse, reduciendo el sulfuro en la alimentación. Una carga inferior de reciclado de polvos puede reducir el tamaño del horno y el equipo auxiliar requerido para tratar las 29,000 toneladas de concentrado propuestas.

Una sangría de polvos podría ser requerida en forma periódica para prevenir la acumulación de zinc.

6. Conclusiones y Recomendaciones

El proceso Ausmelt indicado, es el que se recomienda introducir en Vinto a la brevedad posible para poder competir con las Fundidoras extranjeras especialmente con la RP China que está comprando concentrados de Bolivia con maquilas inferiores a las ofrecidas por Vinto. Se estima que el proceso Ausmelt al reemplazar en una sola unidad (horno) dos operaciones de reducción y volatilización tendrá un ahorro en combustible, mayor productividad por área útil y menor capital operativo de aprox. \$us 150/ton, que para la capacidad propuesta de 30,000 tons anuales significara un ingreso de \$us 4.5 millones anuales suficientes para pagar en dos años la inversión prevista para la modernización de Vinto, incluyendo la rebaja de la maquila en términos competitivos con el exterior.

7. Bibliografía

- J. Lema Patiño: *Fuming of Tin Slags*. IV conferencia Técnica del Estaño, Malasia, 1974.
- Empresa Nacional de Fundiciones: *Descripción del Complejo Metalúrgico de Vinto*, 1977.
- Empresa Nacional de Fundiciones: *Fundición de estaño de Baja Ley*, 1978.
- Empresa Nacional de Fundiciones: *Memoria Técnica*, 1978.
- J. Lema Patiño. *Optimization of the Processing of Tin concentrates*. Canadian Metallurgical Quarterly, 1982.
- N. Murach. *Metallurgy of Tin*, 1967.
- P.A. *Extractive Metallurgy of Tin*, 1982 .
- Ausmelt, *Estudio para la Incorporación del Horno Ausmelt en Vinto*, 2003.