

ANÁLISIS TÉCNICO AMBIENTAL DE LA SUSTITUCIÓN DEL PROCESO DE TOSTACIÓN EN LA METALÚRGICA VINTO POR EL DE BIOOXIDACIÓN COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA DE MITIGACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

M.Sc. Ing. Octavio Hinojosa C.^(*)

Dr. Ing. Gerardo Zamora E.^(**)

^(*) Director del Laboratorio de Concentración de Minerales - Carrera Metalurgia - UTO

^(**) Docente Área Hidrometalurgia y Electrometalurgia - Carrera Metalurgia - UTO

RESUMEN

Actualmente, la Empresa Metalúrgica Vinto, en la etapa de tostación de concentrados de estaño, emite SO₂ y arsénico, como contaminantes de mayor impacto al medio ambiente.

El objetivo del presente trabajo de investigación es de estudiar aspectos técnicos y ambientales del proceso de biooxidación, como alternativa al proceso actual de tostación, basado en resultados logrados en estudios experimentales anteriores.

A partir de datos experimentales, se demostró que mediante el proceso de biooxidación es posible alcanzar eliminaciones de más del 90% del azufre, que representa contenidos menores a 0.77% en el producto biooxidado; y paralelamente, la eliminación de otras impurezas importantes como son el arsénico, plomo, zinc y antimonio, que encarecen de manera significativa el proceso de refinación térmica.

Del análisis ambiental se colige, sin lugar a dudas, que el proceso biotecnológico es absolutamente compatible con el medio ambiente y una alternativa factible para sustituir la tostación de la metalúrgica Vinto.

La matriz de evaluación de impacto ambiental permite establecer que la tostación aún con limpieza de gases seguirá teniendo un impacto mayor negativo que el proceso de biooxidación.

1. INTRODUCCIÓN

La Metalúrgica Vinto cuenta con un proceso tradicional de tratamiento de concentrados de estaño con contenidos de azufre, arsénico, antimonio, zinc, etc., provenientes de diferentes fuentes; este tratamiento cuenta con una etapa de oxidación por tostación, operación necesaria previa a la reducción de los concentrados de estaño, en la que se

emite una cantidad apreciable de elementos contaminantes del medio ambiente.

Una estimación aproximada, determinada por los propios técnicos de la empresa⁽¹⁾, de la cantidad de SO₂ que se emite a la atmósfera se muestra en la tabla 1.

TABLA 1. Características de los gases sulfurosos de la Metalúrgica de Vinto⁽¹⁾

Valores promedios	Caudal (Nm ³ /h)	SO ₂ (%)	H ₂ O (%)	Temperatura (°C)	SO ₂ TPA
Tostación	21,600	1.87	22.5	55	9,124
Volatilización	34,000	0.73	50.0	65	5,624
Total	55,600	1,17	40	61.1	14,748

Esta cantidad de SO₂ que se emite a la atmósfera se encuentra por encima de los límites permisibles de descarga y por tanto se constituye en una fuente de contaminación para suelos y cuerpos receptores acuáticos; además de un riesgo potencial para la salud humana. Lo más peligroso es la formación de lluvia ácida que es más perjudicial a todos los seres vivos. Este fenómeno se da a través de la oxidación del SO₂ en la atmósfera reaccionando con el oxígeno del aire, con el ozono y la intervención de rayos ultravioleta se produce la formación primero de SO₃ para luego combinándose con la humedad de la atmósfera en una reacción lenta, formar gotitas de ácido sulfúrico que se precipitan en forma de lluvia ácida; al respecto está establecido, que 2/3 de la lluvia ácida es causada por la acidificación con ácido sulfúrico formada a partir del SO₂ y 1/3 con ácido nítrico que se forma a partir de los óxidos de nitrógeno⁽²⁾.

A las emisiones de SO₂, se debe añadir la contaminación generada por algunos otros contaminantes presentes en los efluentes gaseosos y que se generan a partir de los minerales característicos que son tratados en este complejo metalúrgico; entre ellos, por su elevada presión de vapor: arsénico y antimonio; y por arrastre mecánico: plomo, zinc, etc., que en forma de óxidos son arrastrados primero a la atmósfera, para luego depositarse en suelos y aguas en extensas áreas aledañas y alejadas de la planta. Trabajos de investigación^{(3), (4)}, demuestran la contaminación de los suelos por metales pesados como arsénico, antimonio y plomo principalmente. En el segundo trabajo mencionado, se presentan los resultados de muestras tomadas en pozos de 40 cm de profundidad, abarcando un área circular que cubría prácticamente toda la planta y que se transcriben en la tabla 2.

TABLA 2. Presencia de elementos pesados en los suelos, alrededores de la Metalúrgica Vinto⁽⁴⁾.

Pozo	Ubicación	Elemento	Ley, g/t
1	5 km de la planta en dirección a Machacamarca (sur), área aproximada 2.000 m ² .	As	66,21
		Sb	22,75
		Pb	820,00
2	500 m al oeste de la planta, en dirección a Sepulturas, área aproximada 1.500 m ² .	As	57,31
		Sb	15,45
		Pb	827,00
3	500 m al norte de la planta en dirección a Huajara, área aproximada 2.000 m ² .	As	39,00
		Sb	14,68
		Pb	815,00

Por otro lado en 1999 Zapata,⁽³⁾ efectuó un trabajo de determinación de la presencia de azufre, arsénico, antimonio y plomo en los suelos con la finalidad de contribuir con datos estadísticos y analíticos representativos. El muestreo realizado fue sistemático con referencia a la chimenea principal de la fundidora de estaño; de ahí en más, se tomaron muestras a tres niveles de profundidad: de 0-2 cm, de 2-10 cm y de 10 a 20 cm; a diferentes distancias, varian-

do de 500 a 2.500 m, en diferentes direcciones de los puntos cardinales y en diferentes épocas del año. Los resultados muestran la presencia de todos estos elementos en diferentes concentraciones y en todos los puntos de muestreo, valores que deben llamar a la preocupación porque estos suelos están contaminados y difícilmente pueden ser revertidos especialmente por las extensas áreas involucradas. Los valores que muestra la tabla 2, ratifican en cierta forma los valores logrados en el anterior estudio.

Por tanto, es necesario mencionar que deben tomarse medidas precautorias lo más antes posible para de esta forma mitigar en algo la contaminación del aire, aguas y suelos.

2. OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo de investigación es:

Realizar el estudio técnico y ambiental del proceso de biooxidación como alternativa al proceso actual de tostación en la metalúrgica Vinto en base a resultados logrados en estudios experimentales anteriores^{(5), (6)}.

Los objetivos específicos de la investigación son:

- Evaluar los procesos de tostación y de biooxidación desde el punto de vista técnico y ambiental.
- Determinar la evaluación de impacto ambiental de la aplicación de ambas tecnologías en base a matrices de impactos ambientales.
- Analizar la posible sustitución tecnológica del proceso de la tostación por la de biooxidación.

3. EVALUACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL

3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

Inicialmente se debe indicar que la tostación de concentrados de estaño, principalmente para la eliminación del azufre, es un proceso efectivo en cuanto a la calidad de los resultados obtenidos. Es más, es un proceso comprobado y usado desde hace décadas a nivel mundial y en ese contexto también se aplica en nuestro medio; empero, cada vez su uso se va reduciendo, ya lo hicieron muchos países en Norte América y Europa, principalmente por los efectos medioambientales que causa⁽⁷⁾.

Por otro lado, la biotecnología ha demostrado ser un proceso técnicamente viable, generalmente en el tratamiento de menas y concentrados auríferos refractarios sulfurosos; procesos que han sido aplicados industrialmente en varias plantas alrededor del mundo, y que cada vez son más las plantas industriales que recurren a esta nueva tecnología por aspectos principalmente ambientales⁽⁸⁾.

Esta tecnología ha ampliado su campo de acción a una serie de procesos que tienen que ver con el cuidado y preservación del medio ambiente, como el tratamiento de menas con contenidos de uranio, tratamiento de aguas

residuales y restauración, bio-adsorción de metales pesados, tratamiento de aguas contaminadas por el proceso de wetlands, biodegradación del cianuro, entre las principales; incursiones que cada vez tienen más éxito y por tanto más campos de acción⁽⁹⁾.

En esta dirección, la aplicación de la biotecnología en el pretratamiento de concentrados de estaño a través de la biooxidación de los sulfurosos que contienen estos concentrados, antes de ser sometidos a la etapa de reducción, es perfectamente viable en virtud de la calidad de resultados obtenidos. Se puede establecer la eliminación de más del 90% del azufre, principal y potencial fuente de contaminación ambiental en la etapa de tostación de concentrados, y paralelamente a la degradación del azufre, también de otras impurezas importantes como son el arsénico, plomo, zinc y antimonio, que encarecen de manera significativa el proceso de refinación térmica.

Esta afirmación se basa en la relación de resultados que se pueden observar en la siguiente tabla:

TABLA 3. Composición química de un concentrado de estaño de Vinto antes y después del pretratamiento de oxidación^{(5), (12)}

ELEMENTO	Contenido antes del tratamiento	Después de la Tostación	Después de la biooxidación
Azufre	6.50 – 8.0 %	0.80%	0.77%
Arsénico	0.20 – 0.45%	0.12%	0.05%
Antimonio	0.15 – 0.25%	-	0.02%
Zinc	1.20 – 1.60%	-	0.02%

- No se conoce

De la tabla anterior, se deduce que la biooxidación no sólo puede competir con la tostación, en cuanto a la calidad del producto final, referido al menor tenor de sulfuro, sino que puede reemplazarlo con la misma efectividad.

La respuesta positiva a la biooxidación no sólo de los concentrados de Vinto, sino también de otro tipo de concentrados como los provenientes de Colquiri, que teniendo características mineralógicas diferentes a las de Vinto, también responden favorablemente a este proceso, aspecto que se puede observar también en la tabla 3, y mediante información complementaria de la tabla 4.

TABLA 4. Análisis químico final del mineral de Colquiri biooxidado⁽⁶⁾

Elemento	Sin biooxidar	Biooxidado		% eliminado
		Prueba 1	Prueba 2	
Estaño	42.67%		44.47%	-
Azufre	13.07%	1.14%	1.15%	91.20
Arsénico	0.47%		0.04%	91.49
Hierro	15.46%		3.64%	76.46
Zinc	3.40%		0.08%	97.65
Antimonio	0.09%		0.04%	55.56

Ahora bien, los efluentes gaseosos, provenientes de la tostación, pueden ser tratados en circuitos establecidos que no siempre son efectivos en la eliminación del azufre por cuanto siempre habrá una determinada cantidad que "escape" a la atmósfera. En efecto, la cantidad de azufre en el concentrado y los volúmenes de aire usados en la tostación hacen que la concentración del SO₂ sea insuficiente como para producir H₂SO₄, entonces deberá pensarse en atrapar al azufre y al arsénico remanente en lavadores con lechada de cal y la experiencia industrial, en este tipo de trabajos, muestra buena eficiencia pero no absoluta.

En contraposición a ello, los efluentes líquidos provenientes de la biooxidación son tratados con efectividad, aspecto que también ha sido demostrado y está siendo aplicado en la industria actualmente. En efecto, los efluentes obtenidos en este trabajo son tratados adecuadamente y los resultados muestran que si es posible obtener efluentes descargables que cumplen con las normas medioambientales; es más, este tipo de efluente es más fácil de ser controlado que los generados por la tostación⁽¹¹⁾.

Los productos de la neutralización-precipitación, también son manejables, ya que los efluentes líquidos finales, de las características señaladas en la tabla 5, pueden ser descargados al río por cumplir las normas medioambientales; empero, lo más práctico sería recircular al proceso industrial, para evitar descargas industriales al medio ambiente que casi siempre no son bien vistas por mucho que cumplan especificaciones medioambientales y segundo porque es necesario disponer de mayores volúmenes de agua en los procesos industriales.

TABLA 5. Resultados de la etapa neutralización-precipitación⁽⁵⁾

Solución/Residuo	As (mg/l)	Fe (mg/l)
Efluente original	196.29	13,050.00
1ra etapa (pH = 5)	0.002	20.32
2da etapa (pH = 8)	0.001	0.054
Residuo 1 (pH = 5)	0.22%	18.38%
Residuo 2 (pH = 8)	0.14%	0.61%
Sólidos totales disueltos en el efluente original: 65 g/l Peso del residuo húmedo 1º etapa: 137 g Peso del residuo seco 1º etapa: 40 g ≅ 40 kg/m ³ Peso del residuo húmedo 2º etapa: 112 g Peso del residuo seco 2º etapa: 28 g ≅ 28 kg/m ³		

Las concentraciones de los contaminantes presentes en los efluentes finales del proceso de neutralización-precipitación son comparados en la tabla 6, con los límites permisibles máximos de descarga diaria establecidos en el reglamento en materia de contaminación hídrica de la Ley 1333.

Esta comparación permite identificar dichos efluentes que pueden ser descargados al medio ambiente; sin embargo, de acuerdo al balance hídrico negativo de la operación, no será necesario ya que los mismos deben ser recirculados al

proceso directamente o a otra sección de las instalaciones de la planta.

Los residuos sólidos o queques, pueden ser dispuestos en diques de colas o rellenos en pasta como una tendencia

tecnológica actual. Estos residuos, son moderadamente estables y no reactivos. Los resultados del potencial de neutralización de los productos de precipitación obtenidos son presentados en la tabla 7.

TABLA 6. Límites permisibles para descargas líquidas comparado con resultados obtenidos⁽⁵⁾

NORMA PARÁMETROS	Límite perm., mg/l		BIOOXIDADO, mg/l	
	DIARIO	MES	pH = 5.0	pH = 8.0
Arsénico	1.0	0.5	0.002	0.001
Zinc	3.0	1.5	2131.15	0.120
Antimonio	1.0	-	0.016	0.014
Hierro	1.0	0.5	20.32	0.054
pH	6.9	6.9	5.0	8.000
Temperatura	±5 °C	±5 °C	~ 27 °C	~ 24 °C
Sólidos suspendidos totales	600	-	550	175

TABLA 7. Resultados de la determinación del Potencial de la Neutralización de los Precipitados⁽⁵⁾

Precipitado	Potencial de Neutralización (Kg CaCO ₃ /t residuo)
A pH de 5.0	0.44
A pH de 8.0	52.00

La posible instalación de una planta de biooxidación debería ser en la misma planta metalúrgica con la finalidad de aprovechar el calor disipado de los hornos, que generalmente se pierden, y que podrían servir para el secado del material biooxidado, que se constituye la materia prima para la reducción.

Otra alternativa de tratamiento puede ser en la misma planta donde se genera la mayor parte de estos concentrados de estaño. El calor requerido para la adaptación y biooxidación se obtendría de los hornos secadores y de las propias reacciones exotérmicas del proceso. De esta manera, se podría evitar que la Metalúrgica de Vinto tenga un importante stock de concentrados de estaño "inactivos" por tiempos de un mes o más, afectando en su economía.

Un estudio económico, en base a pruebas a escala semipiloto y piloto, permitiría tomar una determinación definitiva al respecto.

3.2 EVALUACIÓN AMBIENTAL

Las normas medioambientales bolivianas, respecto a la contaminación atmosférica, están dadas y a pesar de que están en plena vigencia, aún no existen mecanismos para hacerlas cumplir. Esta situación cambiará completamente en un futuro cercano y la Metalúrgica de Vinto tendrá que adecuarse a las normativas vigentes.

La cantidad de emisiones de SO₂ de la Metalúrgica Vinto, a partir de balances metalúrgicos, es presentada en la tabla 8:

De acuerdo al reglamento en materia de contaminación atmosférica, los límites permisibles de la calidad del aire son: 80 µg/m³ SO₂, 50 ng/m³ As y 75 µg/m³ partículas en suspensión, respectivamente, todos expresados como la media aritmética anual⁽¹³⁾.

Como se puede establecer, la emisión de cantidades considerables a la atmósfera de estos elementos es preocupante, siendo al mismo tiempo factible la emisión de otros contaminantes como antimonio, plomo y zinc, principalmente.

TABLA 8. Tonelaje diario de azufre y arsénico que trata Vinto⁽¹²⁾

Tonelaje tratado, TPD	Ley (%)	Finos (Kilos)	Finos en la calcina (kg)	Emitido a la atmósfera, (kg)
Para el azufre				
55	6	3,300	330	2,970
Para el arsénico				
55	0.3	165	99	66* (20 kg)

* de esta cantidad, aproximadamente, un 70% es recuperado en los filtros

Por todo ello, Vinto está obligado a cumplir con estas normas y tendrá que instalar lavadores de gases, instalaciones complejas y costosas. Esta tecnología, a pesar de su efectividad, tampoco garantiza la eliminación total de estos contaminantes, principalmente del azufre, como ya se indicó anteriormente.

Por otro lado, el manejo de los queques provenientes de la neutralización y precipitación, de la etapa de limpieza de gases en húmedo, también será un problema ambiental ya que los sulfitos y sulfatos arsenicales son reactivos y tóxicos y deberán ser manejados ambientalmente, como lo hacía la Planta de Volatilización La Palca en Potosí ante un similar proceso. Cuando estaba en funcionamiento dicha planta, la

producción de queques arsenicales eran enterrados en bolsas de plástico en las inmediaciones y que son, más temprano que tarde, riesgos ambientales⁽¹²⁾.

También se debe indicar que el control de los efluentes gaseosos es complejo ya que deben instalarse puntos de monitoreo que cubran áreas circulares a varios kilómetros a la redonda.

Todas estas dificultades, o parte de ellas, pueden ser superadas empleando la biotecnología, ya que como lo manifiestan muchísimos autores y lo demuestra la experiencia industrial, existen más ventajas que desventajas con relación a la oxidación pirometalúrgica; dichas ventajas tienen que ver, principalmente, con el cuidado del medio ambiente.

En efecto, la eliminación del azufre y arsénico, en cantidades similares o mayores a los que elimina la tostación, no son evacuados a la atmósfera, estos pasan a las soluciones. Estas soluciones, que en volumen son menores, requieren de reactores que comparados a los requeridos en la limpieza de gases de tostación, son pequeños.

Los efluentes líquidos del proceso, son recirculados y en algún momento, tratados en una siguiente etapa de neutralización precipitación, garantizando la eliminación casi total de los contaminantes como se ha podido demostrar en la tabla 5.

Los queques, provenientes de esta misma etapa, pueden ser almacenados en un dique de colas, adecuadamente construido. Este producto no es riesgoso por cuanto se ha demostrado su estabilidad en un amplio rango de pH (desde 2 hasta 9)⁽⁵⁾.

En función del análisis del potencial de neutralización este producto puede usarse para otros fines medioambientales como cubrir residuos mineros sulfurosos, evitando de esta manera el drenaje ácido de roca tan habitual y casi normal en nuestro medio ya que se cuenta con cantidades impresionantes de este tipo de residuos.

Su control ambiental es más sencillo, tanto por la empresa como por auditores ambientales, si parte o todos estos efluentes son descartados al medio ambiente, por cuanto será suficiente tomar un par de muestras a la salida de la planta y por tanto será más fácil de conocer si cumplen o no las normas medioambientales, respecto a efluentes líquidos.

3.3 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Para complementar el análisis anterior, se realizó una evaluación de impactos de los procesos de tostación sin limpieza de gases, con limpieza de gases y de la biooxidación. Para este análisis se utilizó la matriz de evaluación de impactos del reglamento de Prevención y Control Ambiental⁽¹⁰⁾, tomando en cuenta además la matriz de criterios,

resumida por Salas^{(13, (12)}. Tanto la matriz de criterios, como la matriz de evaluación de impactos, ha sido resumida y adecuada a los objetivos del presente trabajo; y así, comparar bajo un mismo esquema de evaluación de impactos ambientales a las alternativas al proceso de tostación que se podrían presentar para la fundición de Vinto. La ponderación de impactos se realizó asignando valores tanto al impacto directo como al riesgo que pueden tener las actividades de cada alternativa⁽¹²⁾. La tabla 9, detalla los resultados de los análisis correspondientes para cada uno de los procesos antes indicados.

Los impactos que ocasiona la operación de tostación sin limpieza de gases son catalogados, de acuerdo al resultado obtenido, de significativos, situación que debe llamar la atención de autoridades y técnicos de la empresa.

Los impactos ambientales más severos son al aire y a la ecología; pues, alcanzan los valores de ponderación más elevados.

Las actividades que son determinantes para estos resultados son precisamente la operación de tostación con la emanación de gases a la atmósfera y los riesgos que podrían producir las etapas de combustión, la red de inyección de combustible instalado en el horno y alrededores para la combustión y el transporte del mismo a la planta. El agua y el suelo también son afectados y los valores que se obtienen muestran, por ello, un impacto significativo, debido a que los gases condensados y partículas finas en suspensión, expulsados por las chimeneas, finalmente sedimentan en el suelo contaminándolo y las aguas de lluvia arrastran y/o disuelven parte de estos contaminantes.

La limpieza de gases permite disminuir considerablemente el impacto de algunas actividades, principalmente de la emanación de gases que se reduce al mínimo; pero, lamentablemente, los valores que se logran obtener continúan situando al conjunto de actividades de la tostación en el nivel de significativo y esto se debe a que al realizar el lavado de gases aparecen varias actividades que crean situaciones de riesgo en su operación (ver tabla 10, M2).

Comparando la matriz M2 con la matriz M1, se observa que con la limpieza de gases disminuye el impacto ambiental al aire, agua, suelo y la ecología, pero en valores no muy significativos porque se introducen otras actividades nuevas como manejo de queques y soluciones que implican riesgos altos, si además del lavado no se implementa un plan de contingencias.

Esta situación no debe llevar a pensar que la tostación, aún con limpieza de gases, sigue creando un impacto significativo y por tanto, es mejor dejar las cosas tal como están; sino más bien, que el análisis de la matriz ayuda a establecer las actividades de riesgo y que solamente se deben prestar más atención a estas actividades efectuando tareas de prevención y elaboración e implementación de un plan de contingencias y prevención para que estos riesgos sean disminuidos al mínimo.

TABLA 9. M1: Matriz de Evaluación de Impactos, Operación: tostación sin limpieza de gases en la Metalúrgica Vinto⁽¹²⁾

ACTIVIDADES	AIRE			AGUA			SUELO			ECOLOGÍA			Socio-económico		
	I	R	t	I	R	t	I	R	t	I	R	T	I	R	T
1. Acopio de minerales	2.4	-	2.4	1.2	-	1.2	1.6	-	1.6	3.2	-	3.2	1.6	-	1.6
2. Preparación de cargas	2.0	-	2.0	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8
3. Transporte carga al tostador	2.0	-	2.0	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	2.2	-	2.2	1.6	-	1.6
4. Tostación – emisión de gases	4.0	-	4.0	4.0	-	4.0	4.0	-	4.0	4.0	-	4.0	4.0	-	4.0
5. Filtración de gases	2.8	-	2.8	2.2	-	2.2	1.8	-	1.8	2.4	-	2.4	1.6	-	1.6
6. Descarga Calcina	2.6	-	2.6	2.4	-	2.4	2.2	-	2.2	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
7. Transporte de calcina	2.4	-	2.4	2.4	-	2.4	2.8	-	2.8	2.0	-	2.0	1.8	-	1.8
8. Combustión	2.6	2	4.6	2.6	-	2.6	2.0	-	2.0	2.0	2	4.0	1.8	2	3.8
9. Temperatura del horno	2.6	-	2.6	2.8	-	2.8	1.8	-	1.8	2.2	-	2.2	1.8	-	1.8
10. Red de combustible	2.4	2	4.4	2.4	2	4.4	1.6	2	3.6	1.6	2	3.6	2.0	2	4.0
11. Transporte de combustible	2.8	4	6.8	1.8	4	5.8	2.2	4	6.6	3.4	4	7.4	2.2	4	6.2
12. Generación de aire	2.4	-	2.4	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8
Sumatoria / promedio	3.25			2.75			2.65			3.05			2.63		
Aclaración: I = Impacto R = Riesgo t = total															
IMPACTOS: NO SIGNIFICATIVOS : <1.50 DEBILMENTE SIGNIFICATIVOS: >1.51 < 2.50 SIGNIFICATIVOS: >2.51 < 3.50 MUY SIGNIFICATIVOS: >3.51															

TABLA 10. M2: Matriz de Evaluación de Impactos, operación: tostación con limpieza de gases en la Metalúrgica Vinto⁽¹²⁾

ACTIVIDADES	AIRE			AGUA			SUELO			ECOLOGÍA			Socio-económico		
	I	R	t	I	R	T	I	R	T	I	R	t	I	R	T
1. Acopio de minerales	2.4	-	2.4	1.2	-	1.2	1.6	-	1.6	3.2	-	3.2	1.6	-	1.6
2. Preparación de cargas	2.0	-	2.0	1.8	-	1.2	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8
3. Transporte carga al tostador	2.0	-	2.0	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	2.2	-	2.2	1.6	-	1.6
4. Tostación-limpieza de gases	1.0	-	1.0	1.0	-	1.0	1.0	-	1.0	1.4	-	1.4	1.2	-	1.2
5. Filtración de gases	2.8	-	2.8	2.0	-	2.0	1.8	-	1.8	2.4	-	2.4	1.6	-	1.6
6. Neutralización-precipitación	2.0	-	2.0	2.2	-	2.2	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8
7. Separación sólido/líquido	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
8. Manipulación de queques	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.4	-	1.4
9. Manejo de soluciones	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6
10. Transporte de queques	1.8	4	5.8	1.8	4	5.8	1.8	4	5.8	1.8	4	5.8	2.0	4	6.0
11. Disposición de queques	2.0	4	6.0	1.6	4	5.6	2.4	4	6.4	1.6	4	5.6	2.2	4	6.2
12. Descarga calcina	2.6	-	2.6	2.4	-	2.4	2.2	-	2.2	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
13. Transporte de calcina	2.4	-	2.4	2.4	-	2.4	2.8	-	2.8	2.0	-	2.0	1.8	-	1.8
14. Combustión	2.6	2	4.6	2.6	-	2.6	2.0	-	2.0	2.0	2	4.0	1.8	2	3.8
15. Temperatura del horno	2.6	-	2.6	2.8	-	2.8	1.8	-	1.8	2.2	-	2.2	1.8	-	1.8
16. Red de combustible	2.4	2	4.4	2.2	2	4.2	1.6	2	3.6	1.6	2	3.6	2.0	2	4.0
17. Transporte de combustible	2.8	4	6.8	1.8	4	5.8	2.0	4	6.0	3.4	4	7.4	2.2	4	6.2
18. Generación de aire	2.4	-	2.4	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8
Sumatoria / promedio	3.01			2.71			2.62			2.87			2.63		

TABLA 11. M3: Matriz de Evaluación de Impactos, Operación Biooxidación en la Metalúrgica Vinto⁽¹²⁾

ACTIVIDADES	AIRE			AGUA			SUELO			ECOLOGÍA			Socio-económico		
	I	R	T	I	R	t	I	R	t	I	R	t	I	R	T
1. Acopio de minerales	2.4	-	2.4	1.2	-	1.2	1.6	-	1.6	3.2	-	3.2	1.6	-	1.6
2. Preparación de cargas	2.0	-	2.0	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8
3. Transporte carga a molienda	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
4. Molienda	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6
5. Transporte pulpa a planta de biooxidación	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
6. Cultivo de bacterias	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8
7. Adaptación de bacterias	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6
8. Biooxidación	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8
9. Separación sólido - líquido biooxidación	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
10. Secado del queque	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.8	-	1.8
11. Transporte material oxidado	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
12. Neutralización – precipitación	2.0	-	2.0	2.4	-	2.4	2.2	-	2.2	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8
13. Separación sólido - líquido neutralización	1.6	-	1.6	2.2	-	2.2	1.8	-	1.8	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
14. Manejo solución residual	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.6	-	1.6
15. Manipulación de queques	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.4	-	1.4
16. Transporte de queques	1.8	4	5.8	1.8	4	5.8	1.8	4	5.8	1.8	4	5.8	2.0	4	6.0
17. Disposición final de queque	2.0	4	6.0	1.6	4	5.6	2.4	4	6.4	1.6	4	5.6	2.2	4	6.2
18. Temperatura	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6
19. Generación de aire	2.4	-	2.4	1.6	-	1.6	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8	1.8	-	1.8
20. Manejo de reactivos	2.2	-	2.2	1.8	-	1.8	1.6	-	1.6	2.0	-	2.0	1.6	-	1.6
Sumatoria / promedio	2.24			2.14			2.15			2.28			2.10		

De esta manera los impactos pasarán a otra categoría de evaluación de impactos aún cuando esto signifique mayor costo para la empresa.

La matriz de evaluación de impactos para la bio-oxidación, tabla 11 M3, muestra que ambientalmente es, sin lugar a dudas, la mejor opción. Por los resultados alcanzados en la matriz se establece que los impactos que causan las diferentes actividades que engloban la biooxidación están catalogados como débilmente significativos

Si bien la bio-oxidación también requiere manejo de soluciones contaminantes, lodos y residuos de queques, ambientalmente éstos son menos reactivos que los obtenidos en el lavado de gases y en todo caso hay menos actividades que incorporen riesgos que elevan el valor del impacto ambiental.

Por todo ello, es fácil colegir la diferencia y la importancia que tienen uno y otro proceso en cuanto al cuidado del medio ambiente, teniendo una gran ventaja la biotecnología.

Entonces, se puede manifestar a ciencia cierta que:

“La eliminación de impurezas, especialmente azufre y arsénico de los concentrados de estaño por bio-oxidación, es la solución al problema ambiental de las emanaciones gaseosas generadas por el proceso de tostación”.

3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Es necesario e importante efectuar algunas consideraciones en cuanto a la economía de uno y otro proceso; en ese sentido, sin profundizar el tema, se pueden efectuar las siguientes puntualizaciones:

Toda la bibliografía especializada consultada⁽¹²⁾ indica la ventaja económica de la biotecnología frente a la tostación; aún cuando estas comparaciones tienen que ver principalmente con menas y concentrados auríferos. Es importante indicar que la posible instalación de una planta de biotratamiento que trate 50 TPD, aproximadamente, es absolutamente factible.

A favor de la tostación se debe indicar que la planta ya está instalada con todos los requerimientos para una instalación de esta naturaleza para la etapa de oxidación; y que el producto tostado, calcina, se obtiene en tiempos realmente cortos y listo para la siguiente etapa que es la reducción.

Lo que no se tiene en Vinto, es el sistema de limpieza de gases y este sistema, generalmente es complejo y caro ya que debe contar con sistemas de enfriamiento de gases para alimentar a los filtros electrostáticos secos, torres de lavado, sección neutralización, filtros electrostáticos húmedos, una sección separación sólido/líquido que debe ser más grande que en el caso de la biooxidación; porque se manejarán volúmenes más grandes. Lo más difícil, posi-

blemente, será que las leyes medioambientales no sólo no permitan almacenar sin medidas ambientales los queques arsenicales, sino que los obliguen a tratar los mismos, elevando aún más los costos de operación.

Por el contrario, para el tratamiento por biooxidación no se cuenta absolutamente con nada; entonces, la instalación debe tomar en cuenta aspectos como: acopio de la materia prima, circuito de clasificación, molienda, sección de adaptación de bacterias y sección de oxidación; ambos procesos requerirán de calor que debe ser aprovechada de los hornos ya que se requerirán de 35 °C, temperatura no muy elevada y posible de obtenerse por este medio; también será necesario contar con una sección de neutralización y una de separación sólido-líquido.

La desventaja económica de este proceso radicaría en que la obtención del producto oxidado no se realizaría en menos de 20 días, tomando en cuenta además la separación sólido-líquido y el secado; operación que también aprovecharía el calor perdido de los hornos. Si fuera posible que la empresa pueda almacenar cantidades similares al tratamiento de un mes, aproximadamente, entonces el proceso de biooxidación, sin dudas, también puede competir con éxito económico con la tostación.

Pero a favor de la biooxidación se tienen todavía algunos otros aspectos positivos como:

La eliminación del arsénico y otras impurezas es casi total; por tanto, la cantidad de azufre más arsénico garantizan una operación normal durante la reducción, sin el peligro de formar matas o speiss.

Asimismo, al disminuir considerablemente la presencia de impurezas como As, Sb, Zn, etc, en el material a ser reducido, el estaño crudo contará con menor cantidad de impurezas y por tanto los costos de refinación disminuirán y posiblemente tenga que simplificarse el circuito de tratamiento de los concentrados de estaño.

Finalmente, podría eventualmente pensarse en instalar la planta de biotratamiento fuera de las instalaciones de la metalúrgica Vinto, en alguna mina, Huanuni por ejemplo, de tal manera de que a la metalúrgica de Vinto llegue material ya bio-oxidado y listo para su tratamiento, reduciendo o eliminando totalmente los castigos por impurezas durante la comercialización de estos concentrados.

En definitiva, el aspecto económico tendrá que ser analizado cuidadosamente luego de efectuar pruebas primero a escala semipiloto y luego piloto; sin embargo, parece ser el punto de discrepancia con la tostación.

4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, de los análisis correspondientes y observaciones en el transcurso de experimentos anteriores se puede colegir lo siguiente:

- Del análisis técnico se desprende que tanto los concentrados de Vinto como los de Colquiri son susceptibles al tratamiento por bio-oxidación con resultados similares a los que se obtienen en los procesos de tostación.
- Del análisis ambiental se colige, sin lugar a dudas, que el proceso biotecnológico es absolutamente compatible con el medio ambiente y una alternativa factible para sustituir la tostación de la metalúrgica Vinto.
- La matriz de evaluación de impacto ambiental permite establecer que la tostación aún con limpieza de gases seguirá teniendo un impacto mayor negativo que el proceso de bio-oxidación.

REFERENCIAS

1. Manifiesto Ambiental General Empresa Metalúrgica Vinto, Fundación Estaño, Volumen V, Anexo 20, La Paz, agosto, 1997.
2. Tejerina J. L., TPA 5310: "Tecnología de Protección Ambiental III, Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad Nacional de Ingeniería, Universidad Técnica de Oruro, 2001.
3. Zapata L., "Evaluación de azufre, arsénico, plomo y antimonio en suelos de la E. M. Vinto y sus alrededores", Revista Técnica E. M. V. Nº 2, abril de 1999.
4. Hinojosa O. Beltrán C., Velasco C. y García M., "Contaminación de suelos por metales pesados en zonas aledañas a Vinto", Trabajo de Investigación Nº 2, TPA 5220: Tecnologías de protección ambiental II, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, agosto, 2000.
5. Hinojosa O., Zamora G., "Mitigación del impacto ambiental generado por la tostación de concentrados de estaño mediante biooxidación", Revista Metalúrgica Nº 24, pp 14-25, Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad Nacional de Ingeniería, Universidad Técnica de Oruro, julio, 2003.
6. Hinojosa O., Zamora G., "Biooxidación de concentrados de estaño de la empresa minera Colquiri", Revista Metalúrgica Nº 24, Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad Nacional de Ingeniería, Universidad Técnica de Oruro, julio, 2003.
7. Brierley Corale L., "Bacterial Oxidation, Master key to unlock refractory gold ores", Engineering Mining Journal, May 1995, pp. 42-44.
8. Gilbert S.R., Bounds C.O. and Ice, "Comparative economics of bacterial oxidation and roasting as a pre-treatment step for gold recovery from an auriferous pyrite concentrate", CIM Bulletin, February 1988, pp 89-94.
9. Brierley Corale L. and Briggs Andrew P.W., "Minerals Biooxidation/Bioleaching: A Guide to Developing a

- Technically and Economically Viable Process”, 1997, (Tomo I, artículos varios biooxidación/biolixiviación; Biblioteca Metalurgia).
10. Reglamentos a la Ley del Medio Ambiente, En Materia de Contaminación Atmosférica, Decreto Supremo 24176, Gaceta Oficial de Bolivia, La Paz, diciembre, 1995.
 11. Brierley J.A. and Brierley C. L., “Reflections on and considerations for biotechnology in the metals extraction industry, Hydrometallurgy: Fundamentals”, Technology and innovations, J.B. Hiskey and G. W. Warren Editots, AIME, Colorado, 1995, USA, cap. 40, pp. 647-659.
 12. Hinojosa O., “La biooxidación de los concentrados de estaño de la ex-empresa metalúrgica Vinto como alternativa de mitigación a la problemática ambiental generada por su tostación”, Tesis de Grado del Programa de Maestría: Tecnología de Protección Ambiental, Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Facultad Nacional de Ingeniería, Universidad Técnica de Oruro, diciembre de 2002.
 13. Salas A., TPA: “Gestión de pasivos ambientales y restauración de áreas contaminadas”, Curso de Maestría en Tecnología de Protección Ambiental, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, abril, mayo de 2001.