

Un desafío de 100 millones de dólares

¿COMO APROVECHAR LAS RESERVAS DE AZUFRE?

Por

Sergio Godoy F.
Carlos Cuadra O.
(CIMM)

En el presente trabajo se plantea un análisis del futuro y la importancia que tiene para Chile la planificación y estrategias de investigación y desarrollo que permitan un aprovechamiento integral de los minerales de azufre volcánicos y del ácido sulfúrico provenientes de los gases de fundición.

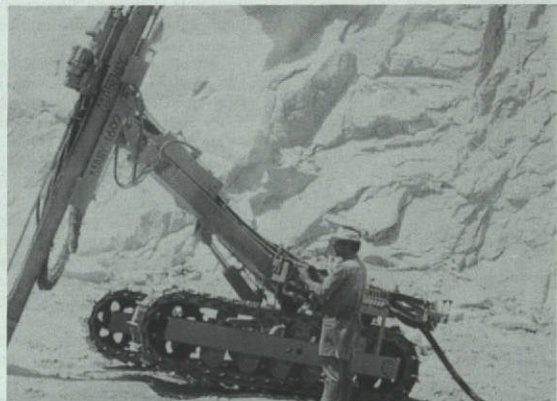
Para ello se hace una revisión de los recursos naturales disponibles, una breve descripción de la oferta y demanda de azufre y las recomendaciones que serían necesarias para conseguir una industria del azufre estable y permanente en el país.

CIMM realizó un trabajo de investigación para CORFO, en el cual se revisaron numerosos documentos, comprobándose que existen en nuestro país reservas medidas y posibles de azufre volcánico que suman sobre 100.000.000 t con leyes entre 30 y 45%.

En el caso del azufre contenido como SO_2 en los gases de fundiciones de cobre, se puede indicar, que hacia 1990, de acuerdo a los proyectos en marcha, se tendrá una producción efectiva de 4.500 t H_2SO_4/d y en gases no aprovechados de 7.193 t/d.

Del estudio de oferta y demanda a nivel internacional y nacional se concluye:

— El precio del azufre tendrá un



carácter alcista llegando a US\$ 200 por tonelada (FOB, EE. UU. o Canadá) a fines de siglo.

— Se experimentará en el mercado nacional un vuelco importante, pasando el país a tener un superávit de proporciones, en términos de ácido sulfúrico y azufre para este uso.

Desde el punto de vista tecnológico se concluye que en el caso de la producción de azufre será necesario el desarrollo de procesos de fusión y refinación continuos que permitan competir, en cuanto a costos y calidades en el mercado internacional.

En el caso del ácido sulfúrico se debe promover la implementación

de proyectos fuertemente consumidores de este insumo.

La gran demanda de azufre experimentada en el mercado internacional ha producido un déficit de este elemento que va en aumento cada año; a pesar del uso de "stocks" acumulados. Este hecho ha repercutido en la industria nacional que la ha conducido a una elevación del costo de los productos que utilizan azufre.

La situación y perspectivas del azufre deben invitarnos a reflexionar, especialmente si se considera que nuestro país posee grandes yacimientos con importantes reservas

Un desafío de 100 millones de dólares

¿COMO APROVECHAR LAS RESERVAS DE AZUFRE?

Por
Sergio Godoy F.
Carlos Cuadra O.
(CIMM)

En el presente trabajo se plantea un análisis del futuro y la importancia que tiene para Chile la planificación y estrategias de investigación y desarrollo que permitan un aprovechamiento integral de los minerales de azufre volcánicos y del ácido sulfúrico provenientes de los gases de fundición.

Para ello se hace una revisión de los recursos naturales disponibles, una breve descripción de la oferta y demanda de azufre y las recomendaciones que serían necesarias para conseguir una industria del azufre estable y permanente en el país.

CIMM realizó un trabajo de investigación para CORFO, en el cual se revisaron numerosos documentos, comprobándose que existen en nuestro país reservas medidas y posibles de azufre volcánico que suman sobre 100.000.000 t con leyes entre 30 y 45%.

En el caso del azufre contenido como SO_2 en los gases de fundición de cobre, se puede indicar, que hacia 1990, de acuerdo a los proyectos en marcha, se tendrá una producción efectiva de 4.500 t H_2SO_4 /d y en gases no aprovechados de 7.193 t/d.

Del estudio de oferta y demanda a nivel internacional y nacional se concluye:

— El precio del azufre tendrá un



carácter alcista llegando a US\$ 200 por tonelada (FOB, EE.UU. o Canadá) a fines de siglo.

— Se experimentará en el mercado nacional un vuelco importante, pasando el país a tener un superávit de proporciones, en términos de ácido sulfúrico y azufre para este uso.

Desde el punto de vista tecnológico se concluye que en el caso de la producción de azufre será necesario el desarrollo de procesos de fusión y refinación continuos que permitan competir, en cuanto a costos y calidades en el mercado internacional.

En el caso del ácido sulfúrico se debe promover la implementación

de proyectos fuertemente consumidores de este insumo.

La gran demanda de azufre experimentada en el mercado internacional ha producido un déficit de este elemento que va en aumento cada año; a pesar del uso de "stocks" acumulados. Este hecho ha repercutido en la industria nacional que la ha conducido a una elevación del costo de los productos que utilizan azufre.

La situación y perspectivas del azufre deben invitarnos a reflexionar, especialmente si se considera que nuestro país posee grandes yacimientos con importantes reservas

de ese mineral y que sólo se necesita investigar procesos económicos de beneficio que entreguen un producto apto para ser empleado en la industria nacional, y en lo posible exportar el máximo.

La situación de la industria del azufre en Chile debe cambiar fundamentalmente hacia el fin de la década, con los nuevos proyectos de fabricación de ácido sulfúrico cuyas plantas se encuentran en construcción y estudio en las fundiciones de cobre, pasando de un país importador de azufre para este uso, a un exportador potencial de azufre y ácido sulfúrico.

A juicio de CIMM es de mucha importancia la planificación e implementación de estrategias de investigación y desarrollo en el país, que permitan un aprovechamiento integral de los minerales de azufre volcánico y del ácido sulfúrico provenientes de los gases de fundición.

En el presente trabajo se muestran los recursos naturales disponi-

bles, la oferta y demanda de azufre, las tecnologías existentes y se analizan las acciones que serían necesarias para conseguir una industria del azufre estable y permanente en el país.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el propósito de dilucidar algunas interrogantes para el establecimiento de una industria del azufre en Chile estable y permanente, logrando con ello un importante desarrollo en torno a la capacidad chilena para producir ese mineral, se concluye y recomiendan, entre otros, los siguientes aspectos básicos:

— Investigación y desarrollo de tecnologías propias o adaptadas para producir a partir de caliches chilenos un azufre refinado de tal calidad y costo de producción que se pueda competir internacionalmente. La investigación debe cen-

tralizarse en procesos continuos de fusión y refinación.

— Para lograr resultados rápidos y útiles sobre el punto anterior, deberán promoverse convenios en que participen activamente los 3 segmentos involucrados en una investigación de esta naturaleza: el empresario (dueño de los yacimientos), una institución de investigación y algún organismo de fomento del Estado.

— La creación de una agrupación de exportadores de azufre como manera de formar una capacidad real y permanente de exportación de volúmenes importantes de azufre fino.

En relación con la problemática del ácido sulfúrico proveniente de las fundiciones se recomienda:

— Un estímulo especial para el desarrollo de proyectos que usen el ácido sulfúrico como insumo relevante:

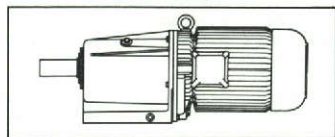
• Estudios de factibilidad para la

BAUER

ALEMANIA FEDERAL

- MOTORREDUCTORES
- MOTOVARIADORES
- MOTOTAMBORES
- REDUCTORES, ETC...

para servicio continuo, protección IP 65.



STOCK E IMPORTACION DIRECTA

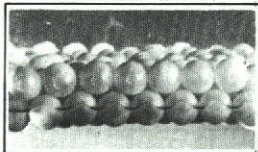
JUNG Y CIA. LTDA.
HUERFANOS 757 OF. 310 CASILLA 14478
FONO 394453 - TELEX 340673
SANTIAGO

ROLANDO HADDAD LIMITADA.

PLASTICOS PANTERA
- HADAPLAST - ZEPHYR M.R.
José Ananías 444
Teléfonos: 5554108 - 5554109 - 5568128
Santiago - Chile.

rh

ESFERAS ANTINEBLINA ZEPHYR M.R.



CON LICENCIA EURO-MATIC DINAMARCA

USO DE LAS ESFERAS ANTINEBLINA ZEPHYR. M.R.

- Reducen el consumo de ácidos y de energía en la refinación de cobre y otros metales.
- Reducen el consumo de energía y disminuye la neblina en los tratamientos de metales, en galvanoplastia, fosfatados, anodizados etc.
- Reducen el ataque a las estructuras metálicas y a las tablerías electrónicas de los productos químicos.
- Reducen el riesgo de incendio, de explosión en tanques abiertos de productos inflamables.
- Reducen los accidentes del trabajo al evitar salpicaduras por caída de objetos en líquidos agresivos y ayudan a mantener al aire limpio dentro de la Empresa.

Además somos fabricantes de Cañerías, Mangueras, Bidones, Botellas, Frascos. Bidones con llave para dosificar y Films de Polietileno - Productos.

SOLICITE INFORMACIONES

instalación en Chile de una fábrica de fertilizantes en base a roca fosfórica chilena y/o importada. En la estructura de costo de fabricación de fertilizantes, el ácido sulfúrico incide en, más o menos, un 40%.

- Promoción de todos aquellos proyectos de la mediana y pequeña minería que emplean como lixivian- te el ácido sulfúrico.

- Estudiar en profundidad la alternativa de exportación de los grandes excedentes de ácido que se producirán, aun considerando proyecciones óptimas de consumo nacional.

RECURSOS

En Chile, los recursos minerales de azufre están constituidos fundamentalmente por yacimientos volcánicos localizados a lo largo de la Cordillera de los Andes y por el azufre contenido en los gases producidos en los procesos de producción de cobre. En la Figura N° 1 se esquematiza la clasificación de los yacimientos.

En lo que se relaciona con los yacimientos volcánicos, CIMM realizó un trabajo de investigación para CORFO, en el cual se revisaron numerosos documentos, comprobándose que existen en nuestro país, recursos naturales, con reservas bien definidas al menos en 4 distritos, ubicados en la zona Norte a alturas que fluctúan entre 4.200 y 6.000 metros sobre el nivel del mar. Como se puede apreciar en el Cuadro 1, estos distritos son: Villa Industrial, Carcote, San Pedro de Atacama y Plato de Sopa que poseen reservas superiores a 10.000.000 t con leyes inferiores a 45% S y facilidades logísticas entre buenas y regulares. Estos antecedentes permiten contemplar el establecimiento de faenas de mediana y gran minería que podrían producir azufre refinado con costos competitivos. Además existen otros 10 distritos de considerable potencial de reservas que ofrecen también buenas perspecti-

vas para ser desarrollados en gran escala. Se ha definido como "distrito" las agrupaciones de yacimientos ubicados dentro de un radio hasta 50 kms cuya explotación centralizada podría ser de interés en la industria minera.

El total de las reservas medidas y probables suman más de 100.000.000 de t con leyes de azufre de entre 30 y 45%.

En lo que se refiere al contenido de azufre como SO_2 en los gases de fundiciones de cobre, cuyo destino es básicamente la fabricación de ácido sulfúrico, se puede establecer:

La potencialidad total será en el año 1990, de acuerdo a los proyectos actualmente en marcha, de 11.700 t de H_2SO_4 diarios, lo que equivale a unas 4.200 t azufre al día y $1,5 \times 10^6$ toneladas de azufre al año.

Actualmente se producen del orden de 1.100 t H_2SO_4 /d provenientes de los gases, proyectándose para 1990 una producción efectiva de 4.500 tons H_2SO_4 /d y en gases no aprovechados 7.193 t/d. El Cuadro 2 muestra gráficamente estos valores.

OFERTA Y DEMANDA

Un análisis muy breve de las proyecciones de la oferta y demanda de azufre a nivel mundial y nacional, de acuerdo con las últimas informaciones disponibles, indica que:

La demanda mundial de azufre ha ido creciendo en las últimas décadas, llegando a estabilizarse en la presente en unos 50 a 55 millones de toneladas al año.

Por su parte la oferta se ha ido adecuando a la demanda en base fundamentalmente a producciones de azufre tipo Frasch y a azufre recuperado en la industria petroquímica.

Actualmente la demanda supera a la oferta en 2 a 3 millones de toneladas de azufre al año, las que son suplidas por un stock acumulado en Canadá, Figura N° 2.

El futuro se proyecta, de acuerdo a los especialistas, en un aumento de la producción del orden de 1,5% anual, con lo cual se agotarían

las reservas económicamente explotables en un plazo de 20 años.

El panorama brevemente analizado conduce a una predicción de precios de carácter alcista, estimándose que de un valor actual FOB (EE.UU. o Canadá) de US\$ 120 por tonelada, se puede llegar a sobre los US\$ 200 a fines de siglo (Figura N° 3).

En cuanto a la situación de mercado en Chile, la oferta y la demanda experimentará en los próximos años una variación muy importante, pasando de un gran déficit en la oferta, que actualmente es suplido por importaciones, a un superávit de proporciones, en términos de ácido sulfúrico, por la entrada en operación de proyectos en etapa de construcción y en estudio.

Este drástico cambio conducirá inevitablemente, si no se adoptan ciertas medidas, a una paralización casi total de las explotaciones de caliche de azufre, que constituye la materia prima para la fabricación de ácido sulfúrico; por supuesto, que habrá una suspensión total de la importación de azufre para estos fines.

Si se expresa la nueva situación en cifras, se puede anotar que hacia 1990 la oferta de ácido sulfúrico será de 4.500 t/d, siendo la demanda solamente 3.000 t/d para esa misma fecha.

Esta nueva situación presenta un gran desafío que se puede resumir del siguiente modo:

- Producción de diferentes tipos de azufre proveniente de los caliches, de tal calidad y costo que pueda ser colocado en los mercados externos para su comercialización.

- Desarrollo de proyectos de explotación en faenas con una producción sobre 1.000 t/d de caliche.

- Generación de proyectos rentables que consuman grandes cantidades de ácido sulfúrico.

- Búsqueda de mercados externos para exportación de los excedentes de ácido sulfúrico.

ESTADO DE LA TECNOLOGIA EN PROCESOS

Probablemente el mayor obstáculo que ha tenido y sigue tenien-

do la industria del azufre en Chile, para lograr un desarrollo estable y sostenido, es la carencia de una tecnología adecuada para transformar un caliche de 30 - 40% de azufre, ubicado en yacimientos a 5.000 metros sobre el nivel del mar, en un azufre refinado de 99,5% puesto en puerto.

En general los procesos utilizados en el país han sido de baja eficiencia, y por lo tanto de altos costos, lo que ha conducido a explotaciones muy irregulares dependiendo fuertemente de los precios en el mercado (1).

En cambio, la tecnología para producción de ácido sulfúrico a partir de gases de las fundiciones de cobre es mundialmente conocida y aplicada con resultados económicos adecuados.

En Chile, la preparación de proyectos incompletos, la escasez de fondos para inversión, los problemas de prioridades, no han permitido construir este tipo de plantas experimentales en la cantidad que el país requiere para desarrollar la investigación en los procesos.

Ultimamente, y más bien por razones de contaminación ambiental, se ha tomado la decisión de construir varias plantas de fabricación de ácido sulfúrico a partir de gases, que probablemente producirán un excedente de ácido sulfúrico que el país está en condiciones de aprovechar. De este modo, de una situación de importación de ácido sulfúrico o su equivalente en azufre, se llegará en algunos años más a una situación de necesidad de exportar ácido.

Sobre los procesos aplicables para obtener azufre a partir de caliches, se puede decir lo siguiente (1):

A nivel de mina no se visualiza otra forma de extracción del caliche que sea más eficiente y económica. Se debe utilizar la tecnología moderna para explotación a rajo abierto unida al empleo de equipos apropiados para este tipo de faena, adecuándolos para lograr un sistema óptimo de carguío y transporte del caliche.

En los procesos de elaboración del caliche para llegar a azufre ele-

mental, existe una gama muy amplia de posibilidades. Hasta la fecha se ha utilizado preferentemente el autoclave, ya sea chileno o japonés. El porcentaje de recuperación es bajo y los costos, especialmente por la fuerte incidencia de la energía, son muy altos, impidiendo competir con azufre importado.

Sin embargo, las principales líneas de investigación para la búsqueda de tecnología apropiada y producción de azufre refinado, comercialmente competitivo en los mercados externos, no han tenido un desarrollo significativo. En este sentido hay que tener en consideración los siguientes aspectos:

— Mejoramiento del rendimiento técnico económico del autoclave chileno para el tratamiento de caliches de alta ley (sobre 50% S).

— Estudios de procesos de flotación de los distintos tipos de caliche con el objeto de obtener concentrados de alta ley (70 - 85% S), con recuperaciones del tipo 90%.

— Desarrollo de sistemas continuos de fusión y refinado de concentrados de azufre de alta ley, probablemente a presión atmosférica y utilizando separación de la ganga

por lavado o filtración en caliente. En esta línea deberá estudiarse en detalle el empleo de sales como medio calefactor, especialmente el uso de cloruro de calcio, reportado en patente existente (2).

— Desarrollo de estudios en los procesos de filtración en caliente, cuya técnica es muy conocida y empleada en la fabricación de ácido sulfúrico. Este proceso permite obtener un producto de alta calidad, por cuanto la filtración en caliente con ayuda filtrante (6), logra una retención efectiva de materiales finos existentes en el medio líquido.

COSTOS

Con el propósito de obtener un perfil económico sobre la rentabilidad de un proyecto de azufre, se puede hacer un ejercicio de simulación de una faena con una explotación, beneficio y refinación de caliches de azufre para una producción de 1.000 t/d mina. En la Figura No 4 se muestra un diagrama de flujo, en el cual se han considerado, como base de cálculo, los siguientes valores:

a)	Mina	
	— Reservas explotables	: 2.000.000
	— Ley promedio de caliche	: 40% S
	— Nivel de producción caliche	: 1.000 t/d
	— Nivel de producción al año	: 300.000 t/año
b)	Planta de Flotación	
	— Recuperación total de azufre	: 90%
	— Ley de concentrado esperado	: 85% S
	— Nivel de tratamiento caliche	: 1.000 t/día
c)	Planta de Fusión y Refino	
	— Producto final	: 99,5% S
	— Recuperación	: 90%
d)	Ventas	
	— Precio de venta	: 130 US\$/t
	— Producción mensual S refinado	: 8.100 t

Un análisis de sensibilidad al precio del azufre muestra lo siguiente:

TIR	PRECIO (US\$/t)
20	130
12	122
0	112

La influencia del precio del azufre tiene gran incidencia en la rentabilidad de un proyecto.

REFERENCIAS

1. CORFO "Investigación de Fuentes de Azufre como Materia Prima Industrial", junio 1987.
2. Tomás Astorga B., "Procedimiento para Fusión y Refino de Azufre a partir de Concentrados". Patente N° 35.037, Santiago, Chile.
3. Arturo Thomas, Informes sobre Yacimientos de Azufre, (Inédito), 1986.
4. Tomás Vila, "Recursos Azufre de Chile", Departamento de Minas y Petróleo, 1939.
5. R. Boyd; T.D. Phillips, "Economics of World Sulphur to the end of the Century", The Fertiliser Society, 1985.
6. F.W. Christian; J.M. Sentmanat, "Good design and operating practices for sulphur filtration", Preprints International Conference Sulphur 87; Houston, Texas, april 1987.

CUADRO N° 1: RESUMEN CATEGORIZADO DE RECURSOS

UBICACION		RECURSOS AZUFEROS				FACILIDADES			EVALUACION	
RE- GION	DISTRITOS	RESERVAS t	S %	POTENCIAL tpm	S %	RANGO RES. POT.	COTA msnm	DISTANCIA A EMBARQ. (KM)	FACILID. LOGIST.	BASES DE LAS CUBIC. DE RESERVAS
I	Villa Industrial	20.300.000	50	500.000	50	I B	5200	180	Regular	Exp. Sistem.
	Putre	3.900.000	45	2.300.000	35	II A	5000	180	Buenas	Cubic. Est.
	Islaza - Sarire	1.500.000	55			II	5000	190	Malas	Cubic. Ant.
	Subtotal	25.700.000	50	2.800.000	36					
	Cancosa	8.000.000	50			II	5000	270	Malas	Exp. Sistem.
	Salar Humco	300.000	45	850.000	30	III B	5000	300	Regular	Cubic. Est.
	Ujina	810.000	50	710.000	30	III B	5000	260	Regular	Cubic. Ant.
	Subtotal	9.110.000	50	1.560.000	30					
	TOTAL	34.810.000	50	4.360.000	34					
	II	Caracoto	12.850.000	40	1.770.000	40	I A	5300	420	Buenas
Ascotan		330.000	45			III	5000	340	Regular	Cubic. Ant.
Cabana		7.065.000	50	320.000	40	II B	5200	360	Regular	Cubic. Ant.
Subtotal		20.245.000	44	2.090.000	40					
Quillagua		100.000	50			IV	2400	130	Malas	Cubic. Ant.
Vilama		1.630.000	50	1.700.000	40	II A	5300	340	Regular	Cubic. Ant.
San P. de Atacama		12.600.000	55	1.680.000	45	I A	5000	420	Buenas	Exp. Sistem.
Socaire		250.000	42	200.000	30	IV C	5500	470	Malas	Cubic. Ant.
Subtotal		14.480.000	54	3.580.000	42					
Montaraqui		2.250.000	45	100.000	40	II D	5000	290	Regular	Cubic. Est.
Punta Negra	80.000	50	80.000	40	IV D			Malas	Cubic. Ant.	
Subtotal	2.330.000	45	180.000	40						
TOTAL	37.055.000	48	5.850.000	41						
III	Lastarria	470.000	50	2.100.000	37	III A	5000	280	Malas	Cubic. Ant.
	Plato de Sopa	12.070.000	30	1.480.000	35	I A	4200	260	Regular	Exp. Sistem.
	Gorbea	5.000.000	60	1.500.000	40	II A	5300	280	Malas	Cubic. Ant.
	Salar Aguilar	1.000.000	50	250.000	30	III C	4200	290	Malas	Cubic. Ant.
	Subtotal	18.480.000	40	5.330.000	37					
	Podemaes	500.000	50	2.300.000	30	III A	5300	290	Malas	Cubic. Ant.
	Mariunga	1.300.000	25	1.250.000	30	II A	4500	250	Regular	Exp. Sistem.
	Volcan Copiapó	4.700.000	40	180.000	30	II C	5000	250	Malas	Cubic. Est.
	Subtotal	6.500.000	38	3.730.000	30					
	Río Tránsito						4500	185	Malas	
TOTAL	24.980.000	39	9.060.000	34						
UBICACION		RECURSOS AZUFEROS				FACILIDADES			EVALUACION	
RE- GION	DISTRITOS	RESERVAS t	S %	POTENCIAL tpm	S %	RANGO RES. POT.	COTA msnm	DISTANCIA A EMBARQ. (KM)	FACILID. LOGIST.	BASES DE LAS CUBIC. DE RESERVAS
IV	Baños del Toro	100.000	40			IV	4100	100	Buenas	Cubic. Est.
	Los Molles	25.000	30			IV		80	Malas	Cubic. Est.
	TOTAL	125.000	38							
Matr. VI VII VIII	Lo Valdés	10.000	50			IV	4000	115	Malas	Cubic. Est.
	Ternas del Flaco	250.000	70			IV	3600	100	Regular	Cubic. Ant.
	Laguna del Maule	100.000	50			IV	2400	165	Regular	Cubic. Est.
	Chillán	85.000	70			IV	2700	80	Buenas	Cubic. Est.
	Santa Bárbara		50				3000	100	Malas	
X	Puyehue						2000	85	Buenas	
TOTAL		445.000	65							
GRAN TOTAL		97.415.000	46	19.270.000	36					

CLASIFICACION DE LOS DISTRITOS:

Clase	Reservas	Potencial	Clase
I	> 10 Mt	> 1 Mt tpm	A
II	1 a 10 Mt	0,25 a 1 Mt tpm	B
III	0,25 a 1 Mt	0,10 a 0,25 Mt tpm	C
IV	< 0,25 Mt	< 0,10 Mt tpm	

NOTA:

- Mt : Millones de toneladas
 M tpm : Millones de toneladas por metro
 Exp. : Exploración
 Sistem. : Sistemática
 Est. : Estimativa
 Ant. : Antigua