



BOLETIN MINERO

Organo Oficial de la Sociedad Nacional de Minería Enero-Febrero 1988.

Desafío de 100 millones de toneladas

¿PODRA CHILE APROVECHAR SUS RESERVAS DE AZUFRE ?





DESDE 1941

SOMOS LA SOLUCION MAS CERCA Y ECONOMICA PARA UN ABASTECIMIENTO AGIL Y DINAMICO DE TODO LO QUE SU FAENA MINERA REQUIERE

17 Sucursales y 15 Polvorines a su disposición con STOCK PERMANENTE y en Zona Franca Iquique



- Reactivos químicos DOW - CYNAMID - SHELL
- Distribuidor Good-Year en todas sus lineas
- Cianuro - Carbón activado - Zinc en polvo
- Distribuidor "SOQUIMICH"
- Bolsas de Molienda ARMCO
- Neumáticos Gigantes
- Lubricantes Shell automotrices e industriales
- Carburo de Calcio - Materiales y Herramientas en general
- Distribuidor "FAMAE"



COMPRESORES "HOLMAN" PERFORADORES WINCHES ACCESORIOS



EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS (Nacionales e Importados de reconocida Tecnología)

Dinamitas - Arfo
Aguagelos - APD Mecha para minas,
fulminantes a fuego N° 8
Detonadores eléctricos instantáneos y
de retardo Cordones detonantes de
todos los tipos.

ASESORIA TECNICA PERMANENTE "SOLICITELA"

SOC. ABASTECEDORA DE LA MINERIA LTDA.

OFICINAS PRINCIPALES EN SANTIAGO

Alameda Libertador Bernardo O'Higgins 969, Conjunto Santiago Centro Torre A, 5° Piso

Teléfonos: 6966727 - 6966619 - 6966478 - 6984422

Bodegas en Santiago Cueto 1095 esq. Mapocho F. 734323

BOLETIN MINERO
 Organo Oficial de la
 Sociedad Nacional de Minería
 Fundado el 15-XII-1883

Directorio SONAMI

Presidente
 Guillermo Valenzuela Figari

Primer Vicepresidente
 Jorge Muxi Ballsels

Segundo Vicepresidente
 Oscar Rojas Garín

Secretario General
 Julio Ascuí Latorre

Representante Legal
 Guillermo Valenzuela Figari

Director
 Alfredo Araya Muñoz

Editores
 Sociedad Nacional de Minería

Diseño
 Fernando Landauro Lizana

Fotografía
 Archivos SONAMI

Coordinador de Publicidad
 Orazio Andriola Williams

Agente de Ventas
 Soledad A. Lagos Herrera

SONAMI
 Teatinos 20 - Of. 33,
 Tels. 6981696 - 6981652

Todos los derechos de la propiedad intelectual quedan reservados. Las informaciones de la revista podrán reproducirse siempre que se cite su origen.

ISSN-0378-0961

AÑO CIII - Nº 21

Impresión
 OGRAMA

Composición IBM
 Juan Meza Ortega
 A. Prat 252, Of. 208
 Teléfono 380851

COMERCIALIZACION DEL ORO

En la presente edición aparece un interesante artículo referido a la importancia de los recursos de oro y plata en América Latina. Confirma este trabajo, con cifras de 1985, que Chile es el tercer productor de oro en el ámbito latinoamericano, después de Brasil y Colombia, posición que ha consolidado en años posteriores con una producción cercana a los 18 mil kilos en 1987.

Sin perjuicio del estímulo que deriva del atractivo precio del metal, el logro de dicha posición responde, básicamente, al esfuerzo desplegado por la autoridad en materia de política minera y que, en la última década, se ha traducido en una notable expansión de la actividad extractiva nacional, incluido el sector aurífero. Es particularmente destacable el éxito de "Programa de Lavaderos", que hoy se extiende a todo el país, con resultados altamente satisfactorios en producción y ocupación de mano de obra.

Frente al indiscutible mérito de estos logros, es dable reconocer que también persisten algunas inquietudes o vacíos susceptibles de resolver en el marco de la actividad aurífera, considerando la factibilidad y clara conveniencia de reforzar el desarrollo del sector, especialmente en el área privada.

Una de dichas inquietudes radica en las regulaciones restrictivas que afectan la comercialización del oro y que desembocan negativamente en el desenvolvimiento de la actividad productora, limitando el mayor desarrollo que ella podría alcanzar y que llevaría a Chile a niveles de producción aurífera incluso superiores a los actuales.

La Sociedad Nacional de Minería ha reiterado las medidas correctivas que son recomendables para superar esa limitante:

— Liberación total de la tenencia y comercialización del oro físico en el país.

— Libre acceso de los pequeños productores a la Casa de Moneda para transformar el oro físico en oro sellado en cualquiera de sus formas (barras, cospeles, monedas, onzas troy).

— Libre transacción del oro sellado en la Bolsa de Comercio.

— Activa participación del Banco Central en la compra-venta y exportación de oro sellado, incluso autorizando a otros intermediarios financieros para comercializarlo interna y externamente, como agentes de dicha entidad.

La experiencia indica que los países auríferos (Chile lo es por excelencia) optan por este tipo de normativa, pues no sólo alienta la producción, sino que evita el comercio informal que invariablemente aflora y se multiplica en presencia de controles restrictivos; controles que, por lo demás, son ajenos a una economía de libre mercado.

Sumario

¿COMO APROVECHAR LAS RESERVAS DE AZUFRE?	2
LIXIVIACION ACIDA Y BACTERIANA EN PILAS	8
NUEVOS PRODUCTOS MINEROS	18
PERFORACION HIDRAULICA	23
ORO Y PLATA EN AMERICA LATINA	28
ENERGIA EOLICA	345

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.

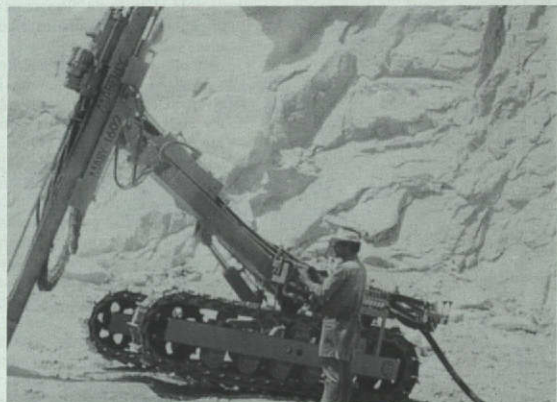
Para ello se hace una revisión de los recursos naturales disponibles, una breve descripción de la oferta y demanda de azufre y las recomendaciones que serían necesarias para conseguir una industria del azufre estable y permanente en el país.

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 SO₂ 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 H₂SO₄/d y en gases no aprovechados de 7.193 t/d.

Del estudio de oferta y demanda a nivel internacional 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 superavit 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 superavit 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:

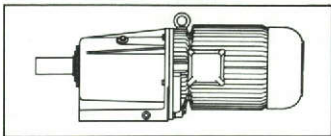
• Estudios de factibilidad para la

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

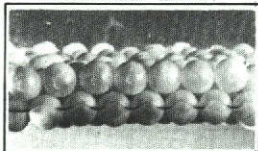
ROLANDO HADDAD LIMITADA.

PLASTICOS PANTERA
- HADAPLAST - ZEPHYR M.R.

José Ananías 444

Teléfonos: 5554108 - 5554109 - 5568128
Santiago - Chile.

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 los tableros electrónicos 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 el 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 importaciones, 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 N° 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

- CORFO "Investigación de Fuentes de Azufre como Materia Prima Industrial", junio 1987.
- Tomás Astorga B., "Procedimiento para Fusión y Refino de Azufre a partir de Concentrados". Patente N° 35.037, Santiago, Chile.
- Arturo Thomas, Informes sobre Yacimientos de Azufre, (Inédito), 1986.
- Tomás Vila, "Recursos Azufreiros de Chile", Departamento de Minas y Petróleo, 1939.
- R. Boyd; T.D. Phillips, "Economics of World Sulphur to the end of the Century", The Fertiliser Society, 1985.
- 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 AZUFREROS				FACILIDADES			EVALUACION	
RE- GION	DISTRITOS	RESERVAS t	S %	POTENCIAL tpm	S %	RANGO RES. POT.	COTA msnm	DISTANCIA A EMBARQ. (KM)	FACILID. LOGIST.	BASE DE LAS CUBIC. DE RESERVAS
I	Villa Industrial	20.300.000	50	500.000	50	I B II A II	5200	180	Regular Buenas Malas	Exp. Sistem. Cubic. Est. Cubic. Ant.
	Putre	3.900.000	45	2.300.000	35		5000	180		
	Islaza - Sarire	1.500.000	55				5000	190		
	Subtotal	25.700.000	50	2.800.000	36					
	Cancosa	8.000.000	50			II III B III B	5000	270	Malas Regular Regular	Exp. Sistem. Cubic. Est. Cubic. Ant.
Salar Husco	300.000	45	850.000	30	5000		300			
Ujina	810.000	50	710.000	30	5000		260 Inque 480 Afta.			
Subtotal	9.110.000	50	1.560.000	30						
TOTAL		34.810.000	50	4.360.000	34					
II	Carsote	12.850.000	40	1.770.000	40	I A III II B	5300	420	Buenas Regular Regular	Exp. Sistem. Cubic. Ant. Cubic. Ant.
	Ascotan	330.000	45				5000	340		
	Cabana	7.065.000	50	320.000	40		5200	360		
	Subtotal	20.245.000	44	2.090.000	40					
	Quillagua	100.000	50			IV II A I A IV C	2400	130	Malas Regular Regular Buenas	Cubic. Ant. Cubic. Ant. Exp. Sistem. Cubic. Ant.
	Vilama	1.630.000	50	1.700.000	40		5300	340		
	San P. de Atocoma	12.600.000	55	1.680.000	45		5000	420		
	Socaire	250.000	42	200.000	30		5500	290		
	Subtotal	14.480.000	54	3.580.000	42					
	Montaraqui	2.250.000	45	100.000	40	II D IV D	5000	400	Regular Malas	Cubic. Est. Cubic. Ant.
Punta Negra	80.000	50	80.000	40						
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 I A II A	5000	280	Malas Regular Malas	Cubic. Ant. Exp. Sistem. Cubic. Ant.
	Plato de Sopa	12.070.000	30	1.480.000	35		4200	260		
	Gorbea	5.000.000	60	1.500.000	40		5300	280		
	Salar Aguilar	1.000.000	50	250.000	30	4200	290			
	Subtotal	18.480.000	40	5.330.000	37					
	Podemaies	500.000	50	2.300.000	30	III A II A	5300	290	Malas Regular	Cubic. Ant. Exp. Sistem.
	Mariouga	1.300.000	25	1.250.000	30		4500	250		
Volcán 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 AZUFREROS				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 IV	4100	100	Buenas Malas	Cubic. Est. Cubic. Est.
	Los Molles	25.000	30					80		
	TOTAL	125.000	38							
Matr.	Lo Valdés	10.000	50			IV IV IV IV	4000	115	Malas Regular Regular Buenas	Cubic. Est. Cubic. Ant. Cubic. Est. Cubic. Est.
VI	Ternas del Placo	250.000	70				3600	100		
VII	Laguna del Maule	100.000	50				2400	165		
VIII	Chillán	85.000	70				2700	80		
X	Santa Bárbara		50			3000	100	Malas		
	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 M tpm	A
II	1 a 10 Mt	0,25 a 1 M tpm	B
III	0,25 a 1 Mt	0,10 a 0,25 M tpm	C
IV	< 0,25 Mt	< 0,10 M tpm	

NOTA:

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

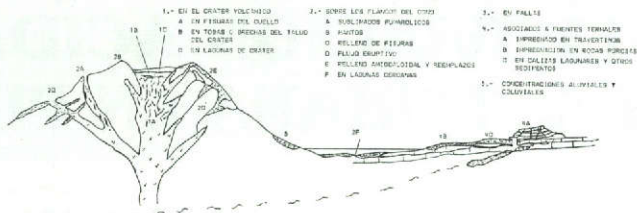


FIGURA 1 ESQUEMA GEOLOGICO DE CLASIFICACION DE LOS YACIMIENTOS DE AZUFRE VOLCANICO

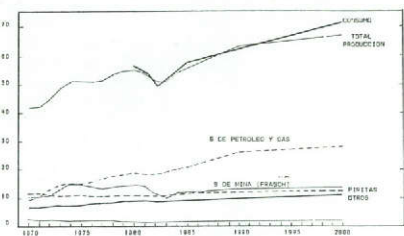


FIGURA 2 EVOLUCION DE LA PRODUCCION MUNDIAL DE AZUFRE (SE) (en millones de toneladas de g equivalente)

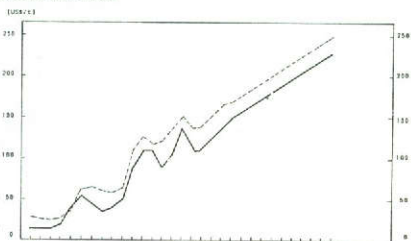
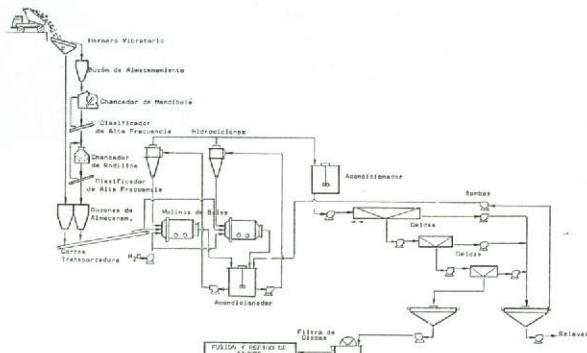


FIGURA 3 PRECIOS DEL AZUFRE



ESQUEMA DE FLUJO DE TRATAMIENTO COMERCIAL 1,000 TPA DE SULFATO

Positivos resultados en experiencias de ENAMI

LIXIVIACION ACIDA Y BACTERIANA EN PILAS

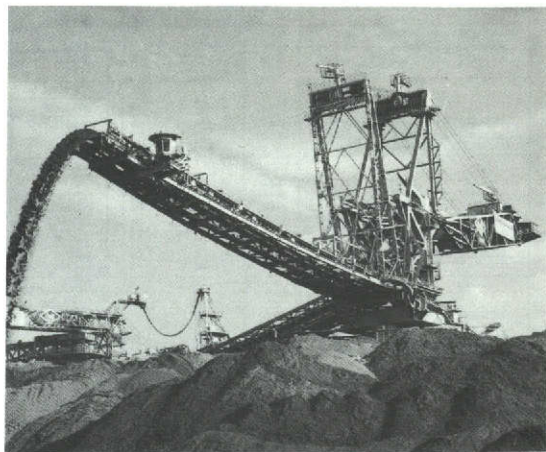
Exposición de los ingenieros René Canello S. y Raúl López O., de ENAMI, en la Trigésimo Octava Convención del Instituto Ingenieros de Minas.

Una de las metas de ENAMI es investigar y desarrollar nuevas tecnologías cuya implantación permita a la empresa operar en condiciones eficientes, manteniéndola en niveles competitivos en el mercado nacional e internacional.

Dentro de este contexto, en consideración a los altos costos de los procesos hidrometalúrgicos tradicionales, ENAMI ha emprendido, desde hace algún tiempo, el estudio y la posterior implementación de nuevas tecnologías de procesamiento que permitan activar, principalmente, la pequeña minería del cobre.

Estas tecnologías no convencionales, dentro de las cuales se encuentra la Lixiviación en Pilas, asociada a una planta de extracción por solventes y electrodeposición, que concluye con la obtención de cátodos de alta pureza, se muestran atractivas por los menores requerimientos de inversión, sus bajos costos de operación y porque no representan impacto contaminante sobre el ambiente.

Desde mediados de 1983, ENAMI ha realizado pruebas de laboratorio y a escala piloto sobre la aplicación de tecnologías de lixiviación en pilas, las cuales al mostrar resultados promisorios, han contribuido a iniciar parcialmente el desarrollo



industrial en sus plantas de beneficio. La total aplicación de esta tecnología dependerá, fundamentalmente, de la respuesta que el sector minero brinde a este nuevo proceso, en las diferentes regiones del país.

El presente trabajo describe las experiencias y algunos resultados obtenidos en relación a la aplicación de la lixiviación ácida en pilas, aplicada a minerales oxidados de cobre en la Planta Osvaldo Martínez de El Salado y a la Lixiviación Bacteriana en Pilas, aplicada a los minerales sulfurados de cobre de Andacollo.

LIXIVIACION ACIDA EN

PILAS DE MINERALES OXIDADOS DE COBRE

La lixiviación en pilas es una de las técnicas de procesamiento de minerales que ha tenido un fuerte desarrollo en los últimos años.

La investigación de nuevas metodologías en el proceso de lixiviación ha permitido implementar procesos hidrometalúrgicos muy atractivos en gran escala. Ejemplo de ello son los procesos aplicados al uranio, oro, plata, cobre y otros minerales.

En años recientes se ha acrecentado los estudios de los mecanismos de disolución de la especie metálica

a la fase líquida en el proceso de lixiviación. Esto ha permitido mejorar las recuperaciones, cinética, consumos involucrados en el proceso y comprender con más exactitud las variables que intervienen en el proceso. Como consecuencia de lo anterior, el desarrollo de los procesos de extracción por solventes, intercambio iónico y absorción-desorción, han hecho de la hidrometalurgia una herramienta exitosa.

Dentro de este marco, el presente trabajo describe brevemente los resultados de las pruebas de laboratorio, a escala piloto y la aplicación a escala semi-industrial de los estudios de lixiviación en pilas de cobre que ENAMI ha realizado desde 1986, aplicados a minerales oxidados de la zona de Chañaral.

ENAMI contempla además iniciar próximamente las experiencias metalúrgicas correspondientes para incorporar la lixiviación en pilas por cianuración a los minerales de oro y plata.

CONCLUSIONES

Las pruebas metalúrgicas de laboratorio y a escala industrial de lixiviación ácida en pilas con mineral oxidado de cobre, que se están efectuando con minerales de la zona de Chañaral, tienen los siguientes objetivos principales:

- Evaluar el comportamiento del sector minero en relación al abastecimiento ante la aplicación de una Tarifa Experimental.

- Definir las variables operacionales del proceso para optimizar las recuperaciones de cobre y obtener el máximo de beneficio económico.

Se pueden citar varias conclusiones que cubren diferentes aspectos.

Las recuperaciones han observado un incremento de 8% que en términos de finos de cobre; han aumentado en un 41% con respecto al promedio desde 1985 a septiembre de 1986, lo que ha significado una mayor producción de precipitados de un 56%.

Cabe destacar que la lixiviación ácida en pilas permite agregar al proceso productivo, minerales oxidados de baja ley, los que antes no podían ser incorporados económi-

camente a la operación ya que el proceso tradicional presenta una recuperación menor.

Se estima que, sometiendo los rípos de este sistema al proceso de lixiviación secundaria, la recuperación global aumentará en forma significativa en relación al proceso de lixiviación convencional aplicado anteriormente en esa planta, con los mismos minerales de la zona.

El sistema de lixiviación ácida en pilas es técnicamente factible y modificando algunas variables operacionales puede operar acoplado al proceso de extracción por solvente y electro obtención de cobre, eliminando el método actual de precipitación con chatarra para la obtención de precipitados de Cu.

Esto último permitirá producir en la misma planta cátodos de cobre de calidad grado "A" y reducir el consumo unitario de ácido sulfúrico, evitando los costos de consumo de chatarra, fusión, conversión, refino a fuego y refino electrolítico, derivados del proceso tradicional que deben seguir los precipitados de cobre.

DESCRIPCION DEL PROCESO

La lixiviación ácida en pila, de minerales de cobre oxidado, por aglomeración con agua y ácido sulfúrico y el posterior regado por aspersión con escurrimiento de la solución en un lecho poroso no saturado, ha sido motivo de varias patentes con distintos objetivos. Sin embargo, las características físico-químicas, factores cinéticos y metodología del proceso, son análogas y las respuestas a los distintos parámetros o variables al proceso son similares para todos los casos.

En la Planta Osvaldo Martínez se está ocupando la patente N° 30851, cedida a ENAMI para ser utilizada en sus procesos de lixiviación, a través de un Convenio de Licencia otorgado con fecha 30 de mayo de 1986 por CODELCO CHILE.

La lixiviación de minerales oxidados de cobre, mediante este proceso se puede dividir en dos etapas:

- Curado y aglomeración.
- Lixiviación con irrigación por aspersión.

La etapa de curado y aglomeración contacta al mineral chancado con ácido sulfúrico concentrado y agua o líquidos de recicló.

Los objetivos de esta etapa son básicamente los siguientes:

- Uniformar el tamaño de las partículas, ligando los finos a los gruesos.

- Aumentar la porosidad del lecho.

- Mejorar la permeabilidad del lecho.

- Fracturar la roca matriz, lo que permite crear y mejorar vías de ataque y penetración.

- Inhibir la sílice soluble.
- Transformar las distintas especies de cobre oxidado en sulfato de cobre, el cual es soluble en agua.

La proporción de agua y ácido sulfúrico y la cantidad de ácido total que se agrega en la etapa de curado y aglomeración, ha de ser tal que permita:

- Lograr la máxima sulfatación de cobre oxidado por unidad de ácido sulfúrico agregado.

- Operar a una concentración final de mezcla de ácido sulfúrico y agua, de modo que la reactividad de la ganga sea menos efectiva sin dejar de inhibir la sílice soluble.

Ambas condiciones están, en todo caso, acotadas por las características de permeabilidad que debe alcanzar el lecho.

La lixiviación posterior del lecho curado y aglomerado se efectúa con una solución diluida de ácido sulfúrico, utilizándose para ello aspersores que producen una lluvia fina. El líquido que irriga el lecho escurre por las partículas de él, sin inundarlo totalmente. Las reacciones químicas involucradas en el proceso se presentan por frentes de reacción.

Una curva cinética típica de recuperación de cobre y consumo de ácido sulfúrico mediante este proceso se muestra en las Figuras N°s 1 y 2, respectivamente.

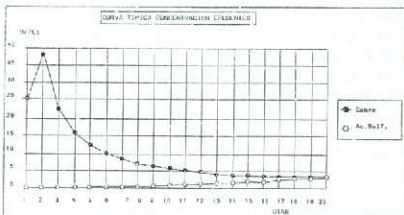
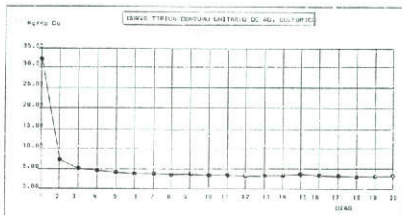
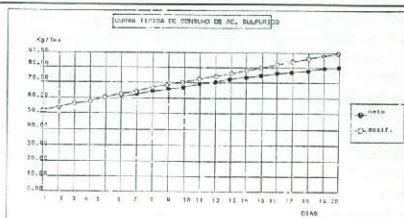
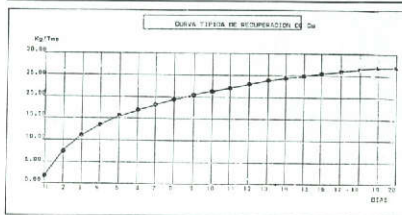
El cociente entre el consumo de ácido sulfúrico y la cantidad de cobre recuperada en función del tiempo, corresponde al consumo unitario de ácido sulfúrico y es una curva típica que se muestra en la Figura N° 3. Esta curva muestra

que al inicio de la lixiviación el consumo unitario de ácido es muy alto y baja a un mínimo y posteriormente sube.

Debe quedar claro que prolongar

el proceso más allá del mínimo de la Figura N° 3 para mejorar la recuperación del proceso, se hará en desmedro del consumo unitario de ácido sulfúrico. En todo caso, no es

regla general que el punto de mínimo consumo unitario de ácido sulfúrico coincida con el punto de máxima utilidad.



ARREQUIP

Maquinaria y Equipo de Construcción



- * COMPRESORES (185-600 PCM)



- * GRUPOS GENERADORES (10-135 KVA)



- * CARGADORES FRONTALES (3,5-5 m³)



- * RODILLOS AUTOPROPULSADOS (1.000 Kgs.)

Sargento Aldea 1370 Tel. 5552214-5510579



La revolución tecnológica para la industria minera lograda por CYANAMID tras años de investigación y desarrollo.

La más amplia gama de reactivos al servicio de la industria minera:

Colectores
Espumantes
Depresantes
Floculantes
...y

siempre una solución a sus problemas mineros.

CYANAMID
CHILE LTDA.

Ministro Carvajal N° 6
Teléfono: 2252345
Providencia - Santiago

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta en la etapa de lixiviación del lecho curado y aglomerado es la característica de los efluentes en cuanto a la concentración de cobre y ácido sulfúrico libre en función del tiempo, lo que se muestra en la Figura N° 4.

De acuerdo a lo anterior, el proceso de lixiviación generalmente está acoplado a un tratamiento de los efluentes que requiere una concentración de cobre relativamente constante. Para ello se procede mediante la operación simultánea de más de una pila, desplazando los inicios y términos de éstas, de modo que la mezcla de la fracción de los efluentes de cada una de ellas, den como resultado concentraciones de cobre relativamente uniformes y concentraciones de ácido sulfúrico aptas para el proceso.

FASE EXPERIMENTAL

La experiencia metalúrgica de lixiviación en pilas se aplicó al stock de minerales oxidados de la compra normal existente en la faena, con una ley media de 3,2% de cobre soluble y a minerales oxidados correspondientes al abastecimiento derivado de la aplicación de la Tarifa Experimental, que contenía minerales que con métodos convencionales de lixiviación no era posible beneficiar económicamente.

Las etapas de la fase experimental para ambos casos fueron dos. La primera corresponde a pruebas a nivel piloto en columnas y que incluyen ensayos a nivel laboratorio. La segunda etapa propiamente tal corresponde a las experiencias a escala semi-industrial.

El objetivo de la primera etapa es determinar las variables metalúrgicas y condiciones de operación más adecuadas para el proceso y proyectar los resultados de la fase piloto a la fase semi-industrial.

Las variables operacionales principales que se estudiaron en la fase piloto fueron la dosis de ácido sulfúrico y agua en la etapa de curado y concentración de ácido sulfúrico en la etapa de lixiviación. Las variables secundarias analizadas co-

rresponden a permeabilidad, tasa de riego, altura del lecho, cinética de sulfatación y otros.

Los principales resultados analizados en las pruebas a nivel piloto fueron: la recuperación de cobre, consumos de ácido y características de los efluentes.

La segunda etapa corresponde a la prueba de lixiviación en pilas a escala semi-industrial.

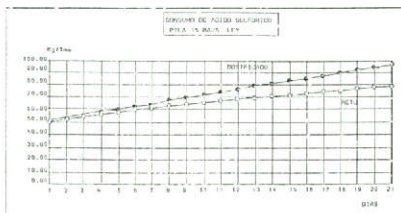
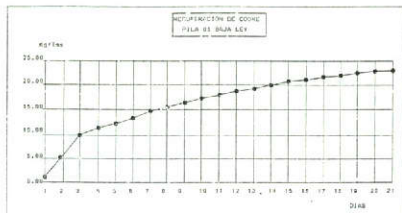
Para poder efectuar esta etapa se adecuó un sector de terreno dentro de la Planta Osvaldo Martínez de El Salado, donde se instaló un revestimiento de polietileno de alta densidad y sus respectivos estanques, red de riego y sistema de curado CO-DELCO.

La superficie de la carpeta es de 3.200 m² y está dividida en 4 sectores, que permiten operar dos pilas simultáneamente en forma independiente en los ciclos de carguo, lixiviación y descarga. La capacidad de tratamiento es suficiente para poder beneficiar un abastecimiento de 300 ton/día de mineral.

La etapa experimental de lixiviación en pilas a escala semi-industrial permitió conocer la respuesta del proceso, incluyendo las influencias de factores adicionales como son: inercia térmica, vientos, movimiento de materiales y todo lo relacionado con una operación a mayor escala.

Las Figuras N°s 5 y 6 muestran la recuperación de cobre y consumo de ácido sulfúrico, por seguimiento cinético de una de las pilas correspondiente a la prueba a escala semi-industrial llevada a cabo con mineral adquirido con la tarifa experimental.

Las experiencias a escala laboratorio y semi-industrial se aplicarán a un stock de ripsos antiguos de lixiviación, existentes en la Planta Osvaldo Martínez, en una cantidad aproximada de 500.000 tons con una ley media de 0,6% de cobre soluble.



REFERENCIAS

1. Un método y un aparato para lixiviación de minerales en estrato delgado. Pat. Chilena N° 29.522.
2. Un procedimiento para inhibir la disolución de sílice durante la lixiviación ácida de menas silicatadas de cobre. Pat. Chilena N° 30.851.
3. Utilización Convenio Licencia Patente de Invención N° 30.851 de CO-DELCO. (Informe Interno ENAMI).
4. Experiencia Metalúrgica a Escala Industrial de Lixiviación en Pilas con Mineral Oxidado de Cobre de Baja Ley (Informe Interno ENAMI).

LIXIVIACION BACTERIANA EN PILAS DE MINERALES SULFURADOS DE COBRE

La Empresa Nacional de Minería es propietaria del Yacimiento Andacolco, ubicado en la IV Región, vecino al pueblo de Andacolco, a 54 kms al sur-este de La Serena.

La aplicación de las técnicas tradicionales de beneficio de minerales sulfurados de cobre de baja ley y el nivel de precio del cobre, determinaron que el proyecto fuera económicamente poco atractivo.

En vista de lo anterior, ENAMI decidió estudiar otras alternativas de procesos que tuvieran expectativas de ser aplicables y que presentaran ventajas sobre el método de concentración por flotación y tradicional, tales como menor inversión, menor costo de operación y menores consumos de agua y energía.

Específicamente, en el procesamiento de mineral se planteó, entre otras, la ruta hidrometalúrgica de lixiviación bacteriana teniendo en cuenta las actividades de lixiviación in situ del mineral, que hacía años que se realizaban en Andacolco y, además, los progresos en la aplicación de la lixiviación bacteriana a minerales mixtos y sulfurados en operaciones en pilas y botaderos.

CONCLUSIONES

Los resultados generados en las Experiencias Metalúrgicas Piloto y Semi-Industrial en Andacolco permiten establecer lo siguiente:

El proceso de lixiviación bacteriana y la posterior recuperación del cobre desde la solución rica por extracción por solventes y electrodeposición, aplicado al mineral de la zona supergénica exterior de enriquecimiento secundario del Yacimiento Andacolco es técnicamente factible.

La cinética de recuperación del metal, en términos generales y dentro de un margen aceptable de error, se ajusta a los valores proyectados en base a los resultados obtenidos en el estudio metalúrgico a nivel piloto.

Como producto final del proceso

estudiado, se obtienen cátodos de cobre que pueden ser comercializados bajo calidad high grade.

Otras conclusiones más específicas se exponen a continuación.

CARACTERISTICAS DEL MINERAL

El mineral procesado es un compuesto constituido por material de los piques AN-16 (9%), 61-A (26%), 64-A (35%) y Nuevo (30%), a diferencia de aquel utilizado en el estudio piloto que correspondió exclusivamente al Pique AN-16; de acuerdo a esto, los minerales considerados en las dos oportunidades no son estrictamente comparables.

La distribución granulométrica del mineral cargado en la pila, indicó una granulometría más fina que aquella estudiada a escala piloto; los tamaños promedios alcanzan a 21 mm y 34 mm, respectivamente.

Según la caracterización expuesta en la Tabla 1, la ley analizada de cabeza de los minerales estudiados a nivel semi-industrial y piloto es bastante similar.

	Cu _T (%)	Cu _{Sol} (%)
Compósito Pila	0,86	0,18
Fase Piloto	0,88	0,12

La caracterización mineralógica permite establecer la contribución de las especies portadoras al contenido de cobre fino de la Tabla 2. De acuerdo a los valores presentados, el mineral de la experiencia semi-industrial debiera ser más accesible a la lixiviación bacteriana; ello se concluye al comparar el fino presente en las especies más fácilmente oxidables (calcosina, covelina y bornita), además de aquel en las especies oxidadas.

Tabla 2:
Contribución de Especies Mineralógicas al Fino Total de Cobre (%)

Especie	Compósito Pila	Fase Piloto
Calcopirita	9,3	20,5
Calcosina	59,3	61,4
Covelina	10,5	2,3
Oxidos	20,9	13,5
Total	100,0	100,0

LIXIVIACION

Los datos de concentración de oxígeno de las muestras de aire tomadas al interior de la pila, indican que el lecho estuvo sometido a una buena aireación, de manera que la tasa de consumo de oxígeno por el proceso bacteriano fue en todo momento inferior a la tasa de acceso de oxígeno por aireación. Esta situación se atribuye a la granulometría del chancado y al bajo contenido de material fino (menor que 0,3 mm), el que alcanzó a 5% del peso total cargado.

De las temperaturas determinadas en el interior de la pila se concluye que, a pesar de la buena aireación descrita en el punto anterior, el proceso bacteriano genera una cierta cantidad de calor que no se disipó por completo al ambiente y, por el contrario, permitió alcanzar una temperatura superior a la ambiental.

Se verifica también el aumento de la temperatura a mayor profundidad y durante los períodos de reposo; en los períodos de lavado, en cambio, la temperatura disminuye.

El enriquecimiento en cobre de la solución a su paso por la pila fluctuó entre valores promedio semanales de 5,0 g/l y 0,4 g/l. Como es de esperar, el alto enriquecimiento inicial disminuye a medida que en las superficies más accesibles a ataque decrece el contenido de cobre oxidado y de las especies sulfuradas más fácilmente, todo lo cual se refleja en un empobrecimiento del mineral.

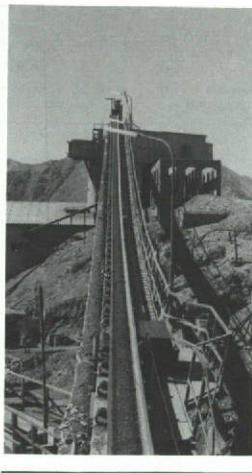
El nivel de enriquecimiento de la solución dependió evidentemente del período de reposo a que se sometió el mineral antes del lavado, de la duración del lavado y de la tasa de irrigación utilizada entre otras razones.

Al parecer, el enriquecimiento fue mayor al lavar el extremo norte de la pila, lo que podría indicar que ese sector aportó una fracción mayoritaria del cobre recuperado. Como explicación podría esgrimirse un carguo selectivo involuntario de mineral más refractario a la lixiviación en el extremo sur, o un acondicionamiento más efectivo del extremo norte y a reposos extremadamente largos del extremo sur con posterioridad a los acondicionamientos. Desafortunadamente y a diferencia de las experiencias a menor escala en que se operan sistemas en paralelo bajo diferentes condiciones, que permiten establecer comportamientos disímiles sin dar lugar a dudas, en esta experiencia la información generada no es concluyente. Es posible que el análisis final de rípos, que se efectuará con posterioridad, permita corroborar esta aseveración.

Prácticamente desde el inicio de los lavados, la concentración de ácido sulfúrico en las soluciones de lixiviación tendió a aumentar en forma continua de manera que, excepto de la adición en los acondicionamientos, no fue necesario agregarlo con posterioridad. Esta situación se atribuye al bajo consumo de mineral, al ácido generado por oxidación de la pirita y, especialmente, al ácido incorporado a la lixiviación como resultado de la transferencia de cobre a extracción por solventes.

A pesar de los descartes efectuados, la lixiviación operó con acidez superiores a las programadas; luego, éstos no fueron suficientes. Demás está decir que en cualquier operación a mayor escala se debe considerar el tratamiento de las soluciones de descarte para neutralizar el ácido purgado.

La concentración de fierro también evolucionó en forma continua hacia niveles superiores, y los des-



cartes realizados no bastaron para mantenerla en el rango sugerido de 2-3 g/l. Como en el caso del ácido, los requerimientos de purga de fierro en una faena de mayor envergadura tienen que ser debidamente considerados.

El potencial de oxidación Eh de la solución drenaje alcanzó valores cercanos a 850 mV al término del tercer mes de operación; en adelante, fluctuó entre 850 y 900 mV. Estos altos potenciales reflejan el desarrollo de condiciones oxidativas favorables para la lixiviación de las especies sulfuradas de cobre presentes en el mineral.

Las soluciones efluentes de la pila tuvieron un aspecto muy cristalino. El material fino que se podía observar en la canaleta de recolección de soluciones y en los estanques, y que en ciertas oportunidades provocó problemas de operación en extracción por solventes, no corresponde a mineral fino arrastrado por la solución, sino que al relave utilizado en la construcción de la cancha de lixiviación y al material del terreno introducido al sistema por las lluvias, la circulación de vehículos y al viento.

Se estima que, solucionando los problemas de operación surgidos en

la faena, el tratamiento de la solución rica por filtración convencional previo a su ingreso a extracción por solventes, debería reducir la formación de borra a niveles normales.

Tempranamente, se estableció en el lecho una apreciable actividad bacteriana, lo que se verifica por los recuentos bacterianos, la rápida evolución del fierro en solución a ión férrico (aumento del potencial de oxidación) y la mayor temperatura del lecho en relación a la temperatura ambiental.

Los resultados obtenidos indican que es posible recuperar un 42,4% del cobre total contenido, valor calculado sobre la base del cobre fino analizado en la cabeza, en 47 semanas de operación contadas desde el comienzo de los períodos de lavado/reposo y que incluyen una detención intermedia de 6 semanas para el segundo acondicionamiento del mineral.

Cabe señalar que esta recuperación estuvo limitada por la capacidad combinada del proceso implementado y no refleja estrictamente la capacidad del mineral de entregar cobre solubilizado. Se estima, sin lugar a dudas, que la recuperación en lixiviación podría haber mejorado a través de una implementación más efectiva del proceso; optativamente, la misma recuperación se podría haber logrado en un tiempo menor.

Bajo las condiciones de lixiviación utilizadas y para la extracción de cobre obtenida, el requerimiento de ácido sulfúrico en lixiviación alcanzó a 1,17 kg/kg Cu recuperado o 4,27 kg/ton de mineral tratado. El consumo total de agua, por otro lado, llegó a 0,31 m³/ton mineral tratado.

EXTRACCION POR SOLVENTES Y ELECTRODEPOSITACION

El comportamiento de estas plantas no se puede calificar en forma muy estricta puesto que ellas no operaron bajo condiciones óptimas, y por el contrario, debieron adaptarse continuamente a las características fluctuantes de la solución rica. Además, la falta de experiencia

del personal en terreno y los problemas que se verificaron con algunos equipos, incidieron sobre el rendimiento de la operación.

En términos generales, en extracción por solventes el consumo de extractante por concepto de pérdidas por arrastre, en la borra, por evaporación y derrames alcanzó a 0,011 l/kg cobre electrodepositado o 0,009 l/m³ de solución rica tratada. Los valores correspondientes al diluyente fueron 0,221 l/kg cobre o 0,189 l/m³ de solución. Estos consumos deben disminuir en una planta de mayor capacidad.

En electrodeposición se obtuvieron cátodos de pureza calificada high grade, para un rendimiento global de energía de 2,11 KWH/kg Cu depositado y una eficiencia de corriente global de 85,8%.

PARAMETROS DEL PROCESO

En la tabla 3 se presenta un resumen de los parámetros más importantes determinados durante la experiencia. De acuerdo a lo expresado en los puntos precedentes, varios de estos índices pueden ser mejorados fácilmente a través de cambios en la práctica operacional y en el diseño de algunos equipos.

RECOMENDACIONES

En consideración a los promisorios resultados obtenidos en la experiencia semi-industrial, como culminación del estudio metalúrgico llevado a cabo con el mineral supergénico exterior del Yacimiento Andacollo, se ha recomendado continuar la experiencia con una segunda pila a escala semi-industrial con granulometría más baja y posteriormente proceder con el sistema de ingeniería conceptual del proceso, consistente en la lixiviación bacteriana en pilas, seguida de extracción por solventes y electrodeposición, obteniendo cátodos de cobre como producto final. Ello, en base a la información generada en la experiencia y a los antecedentes bibliográficos disponibles.

TABLA 3
RESUMEN DE PARAMETROS DETERMINADOS EN
LA EXPERIENCIA SEMI-INDUSTRIAL

Parámetro		Valor
Características del mineral		
Ley de cobre total	(%)	0,86
Ley de cobre soluble	(%)	0,18
Granulometría	(% bajo 4")	96,4
	(% bajo 50#)	5,3
Tamaño promedio	(mm)	21,0
Lixiviación		
Extracción de cobre total	(%)	42,4
Consumo total de H ₂ SO ₄	(Kg/Kg Cu)	2,70
	(Kg/ton min)	9,84
Requerimiento externo de H ₂ SO ₄	(Kg/Kg Cu)	1,17
	(Kg/ton min)	4,27
Consumo de agua	(m ³ /ton min)	0,31
Extracción por Solventes		
Consumo de extractante	(l/kg Cu)	0,011
	(l/m ³ sol)	0,009
Consumo de diluyente	(l/kg Cu)	0,221
	(l/m ³ /sol)	0,189
Electrodeposición		
Rendimiento de energía	(MWH/kg Cu)	2,11
Eficiencia de corriente	(%)	85,8

DESARROLLO

El estudio de la ruta hidrometalúrgica de lixiviación bacteriana en pilas se desarrolló en tres fases:

a) FASE LABORATORIO

En enero de 1984 se dio comienzo en el CIMM a las actividades de la Fase Laboratorio del Proyecto "Factibilidad Técnica de Procesar el Mineral de Andacollo mediante Lixiviación en Pilas".

El programa experimental, de un año de duración, se realizó en columnas de 5 kg de capacidad y altura de lecho de 50 cms con minerales chancados a 1/4 de pulgada. En esta primera etapa se consideró las siguientes alternativas:

- lixiviación ácida
- lixiviación férrica
- curado ácido/lixiviación ácida
- curado ácido-férrico/lixiviación férrica
- lixiviación bacteriana.

El estudio se desarrolló con 5 muestras representativas de los distintos sectores que conforman el Yacimiento Andacollo.

- Muestra L-1. Mineral de la zona supergénica exterior de enriquecimiento secundario, con alteración cuarzosericita y sílice.

- Muestra L-2. Mineral de la zona supergénica interior de enriquecimiento secundario, con alteración cuarzosericita y sílice.

- Muestra L-3. Mineral primario con alteración cuarzosericita.

- Muestra L-4. Mineral primario con alteración cuarzosericita y feldespato potásico.

- Muestra L-5. Mineral primario con alteración biotítica.

Los resultados obtenidos se indican a continuación en términos globales.

El mineral L-1 fue receptivo a los diferentes procesos estudiados. La muestra recibida analizó 1,07% CuT y 0,10% CuSol. La especie de cobre sulfurado más abundante fue la calcosina (conteniendo el 56%

del cobre sulfurado presente) seguida de la calcopirita (42%); en ínfimas concentraciones se encontró covelina y bornita.

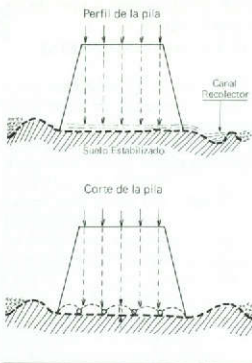
El mineral L-2 experimentó sólo leves extracciones de cobre para las alternativas metalúrgicas estudiadas. Las leyes analizadas fueron 0,49% CuT y 0,018% CuSol. En la muestra predominó la calcopirita (la que contenía el 94% del cobre sulfurado presente) sobre la calcosina (5%).

Los minerales restantes, L-3, L-4 y L-5, provenientes de la zona primaria del yacimiento, y por lo tanto, fundamentalmente calcopiríticos, fueron refractarios a la lixiviación bacteriana (única alternativa estudiada) y por ello se marginaron tempranamente del desarrollo experimental.

El procesamiento del mineral L-1 mediante un curado ácido-férrico y posterior lixiviación férrica permitió extraer rápidamente un 38,4% del cobre contenido en 25 días de operación, período típico para este tipo de lixiviación, con un consumo de ácido sulfúrico de 2,9 kg/kg Cu u 11,8 kg/ton mineral tratado. Sin embargo, este esquema de tratamiento fue muy dependiente de la granulometría utilizada, ya que en una experiencia realizada bajo condiciones similares pero con chancado bajo 1/2 pulgada, la recuperación de cobre en 25 días disminuyó a 32,4% con consumos de ácido de 3,1 kg/kg Cu o 10,2 kg/ton.

Luego, para aumentar la extracción del metal en esta alternativa, además del requerimiento de un chancado fino, se debía continuar operando bajo una condición oxidativa (no bacteriana) que permitiera mantener un alto nivel de ión férrico en las soluciones o, en su defecto, implementar a continuación una lixiviación bacteriana.

En la ruta bacteriana aplicada al mineral L-1, se recuperó el 80,4% del cobre total contenido, en 7 meses de operación, tiempo que incluyó 1 mes de reposo inicial para la proliferación bacteriana, con un consumo de ácido sulfúrico de 2,9 kg/kg Cu o 24,9 kg/ton mineral. El análisis microscópico del ripio de esta experiencia indicó la casi total



solubilización de la calcosina, especie de cobre mayoritaria de la cabeza, y la desaparición del 55% de la calcopirita inicial.

Estos resultados confirmaron la respuesta favorable del mineral L-1 a la lixiviación bacteriana ya que, aun cuando el chancado fue fino, se demostró la solubilización de una porción importante de la calcopirita contenida.

Finalmente, se estableció que no ser posible un chancado fino, la alternativa bacteriana era la más apropiada. Para un chancado a 2 pulgadas o más grueso, el curado ácido-férrico es muy poco efectivo y la posterior lixiviación, necesariamente prolongada por el tamaño de la partícula involucrada, se transforma en el hecho en una lixiviación bacteriana con un nivel de hierro total inferior a aquel normalmente utilizado en las lixiviaciones férricas.

b) FASE PILOTO

En vista de los promisorios resultados obtenidos a escala de laboratorio, el estudio metalúrgico continuó a escala piloto con los minerales de las zonas supergénicas exterior e interior, de enriquecimiento secundario. En esta oportunidad se aplicó sólo la lixiviación bacteriana. El programa experimental se desarrolló entre julio de 1984 y octubre de 1985 y tuvo como objetivo esta-

blecer, con mayor confiabilidad, la respuesta metalúrgica de estos minerales, además de generar la información necesaria para proyectar la respuesta piloto a una escala mayor.

Las experiencias se realizaron en columnas de capacidades entre 0,3 y 1,0 ton y con los minerales chancados a 2 tamaños bastante más gruesos que en la Fase Laboratorio, bajo 2 1/2 y bajo 4 pulgadas.

A esta escala, en 7 columnas, se incluyó el tratamiento de las soluciones fuertes por extracción por solventes y la recirculación de los refinados (soluciones descobrizadas) a lixiviación; en la octava columna se utilizó la cementación como método de descobrización. Esto permitió incorporar en el estudio el efecto de la acumulación de impurezas (especialmente el hierro) en las soluciones y mejorar el balance de ácido sulfúrico. Pero, fundamentalmente, se analizó el efecto de la granulometría y de la altura de lecho sobre la cinética de recuperación de cobre. Los resultados obtenidos se indican a continuación:

El mineral supergénico exterior L-1 analizó 0,88% CuT y 0,12% CuSol, con una distribución de sulfuros de cobre diferente a aquella de la muestra L-1 de la Fase Laboratorio. Así, la contribución de la calcosina y la calcopirita al contenido de cobre sulfurado alcanzó a 71 y 24% respectivamente.

La recuperación del metal con el mineral chancado bajo 4 pulgadas llegó a 49,6% luego de 10 meses de operación, tiempo que incluyó aproximadamente 1 mes de reposo inicial para la proliferación bacteriana. El consumo de ácido sulfúrico fue de 1,95 kg/kg Cu u 8,50 kg/ton mineral tratado. Se debe aclarar que estas cifras son valores netos porque llevan incorporado el crédito de ácido correspondiente a operar la lixiviación en combinación con extracción por solventes y electrodeposición.

El mineral supergénico interior, P-2 analizó 0,48% CuT y 0,022% CuSol. El cobre sulfurado está presente mayoritariamente como calcopirita (87%), en segundo lugar como calcosina (7%), y en porcentajes menores como covelina y bornita.

La recuperación de cobre con el mineral chancado bajo 2.1/2 pulgadas alcanzó a 19,7%, luego de 10 meses de operación, con un consumo de ácido sulfúrico de 5,64 kg/kg Cu o 5,35 kg/ton mineral, cifras que también llevan incorporado el crédito de 1,5 kg/H₂SO₄ producido por kg de cobre recuperado en extracción por solventes y electrodeposición.

Estas extracciones confirmaron la refractariedad del mineral P-2 en relación al mineral P-1, sobre todo al considerar la menor granulometría empleada en el primero. La tasa de recuperación del metal fue entre 2,0 y 2,6 veces superior para el material supergénico exterior.

Estas pruebas a escala piloto indicaron además que ambos minerales eran de bajo consumo de ácido, el que fue necesario adicionarlo sólo al comienzo de la operación. Posteriormente, la acidez de las soluciones tendió a aumentar producto del crédito de ácido sulfúrico y/o del ácido generado en el mineral por la actividad oxidativa bacteriana.

Los resultados obtenidos fueron finalmente modelados a fin de proyectar el comportamiento esperado de estos materiales. El escalamiento a nivel semi-industrial de la respuesta del mineral P-1, para condiciones de operación similares a aquellas del nivel piloto, entregó extracciones de cobre de 44%, 57% y 67% respectivamente, al cabo de 1, 2 y 3 años de operación. Se obtuvo además el perfil esperado de la concentración de cobre en las soluciones fuertes.

La proyección efectuada para el mineral P-2 fue menos auspiciosa, indicando extracciones de cobre de 19%, 26% y 32%, respectivamente, luego de 1, 2 y 3 años de operación.

En relación a la experiencia que operó con cementación como método de descubrición de las soluciones fuertes, cabe señalar que no se aconsejó la utilización de este método, fundamentalmente por los altos consumos de chatarra esperados, a causa de la reacción con el ión férrico presente en altas concentraciones en la solución fuerte. También, a continuación, una fracción signifi-

cativa de esta solución debía purgarse para mantener el nivel de hierro bajo control.

c) FASE SEMI-INDUSTRIAL

En vista de los resultados metalúrgicos expuestos anteriormente, ENAMI planteó internamente un estudio pre-inversoral orientado a la definición de parámetros operacionales, definición y control del proceso, en una escala semi-industrial de lixiviación bacteriana del cobre contenido en el mineral supergénico exterior del Yacimiento Andacollo.

Esta actividad se concibió dentro del estudio de alternativas y proposición de acciones para explotar el yacimiento o para dimensionar su valor. Un segundo objetivo fue corroborar el escalamiento de los resultados a nivel semi-industrial, efectuado sobre la base del comportamiento promisorio de las pruebas piloto de la fase piloto. Un tercer objetivo consistió en comprobar que la lixiviación bacteriana en pilas a escala semi-industrial de un sector del yacimiento era factible y requería inversión y costos de operación menores a una flotación tradicional. La obtención de parámetros de operación permitiría el diseño del proyecto en caso de tener un estudio de factibilidad técnico económico positivo.

Cabe señalar que todas estas experiencias fueron realizadas con la asesoría del CIMM. A solicitud de ENAMI, el proyecto también fue apoyado, en lo concerniente a extracción por solventes y electrodeposición, por profesionales de TAM LTDA. y HENKEL CORPORATION.

En terrenos de Sociedad Minera Coipa Ltda., ENAMI instaló la planta de procesamiento que consistió en una cancha de lixiviación y unidades de extracción por solventes y electrodeposición para el tratamiento de las soluciones ricas de lixiviación. La cancha tuvo un área de 1.600 m², para la extracción por solventes, con una capacidad de tratamiento de solución acuosa cercana a 86 l/min; y electrodeposición con una capacidad máxima de diseño de 244 kg/día de cobre catódico.

co.

El mineral se cargó y acondicionó, en la práctica, en el mes de abril y comienzos de mayo de 1986. Entre el 23 de mayo de 1986 y el 19 de abril de 1987 se llevaron a cabo los períodos consecutivos de lavado/reposo de la pila, que para este efecto fue dividido en sectores. Se procesaron 9.300 tons secas de un compuesto constituido por material procedente de los piques de explotación.

El compuesto analizó 0,86% cobre total, 0,18% cobre soluble. Entre las especies sulfuradas portadoras de cobre predominó la calcosina; los contenidos de calcopirita y covelina fueron bastante menores y similares entre sí, y la bornita se encontró presente a nivel de trazas. El peso total de cobre fino en la muestra estaba distribuido, de acuerdo a las especies portadoras, como sigue: 59,3% en calcosina, 20,9% en óxidos de cobre, 10,5% en covelina y 9,3% en calcopirita.

El mineral chancado a 4 pulgadas y apilado hasta una altura de 6,5 m, fue sometido por parcialidades a un tiempo total de lavado de 273 días. La lixiviación permitió extraer un 42,4% del cobre fino contenido en la cabeza en 47 semanas de operación, extracción calculada en base a la ley analizada del mineral. Estos resultados confirmaron, dentro de un margen de error aceptable, los valores extrapolados en base a la información generada a escala piloto. Bajo estas condiciones fue necesario adicionar al lecho 1,17 kg ácido por kg de cobre recuperado o 4,27 kg por tonelada seca de mineral tratado.

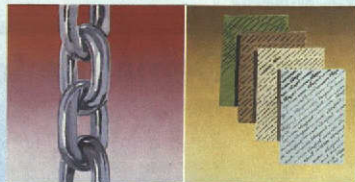
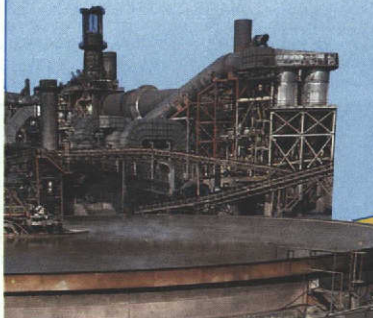
Como consecuencia de procesar la solución rica por extracción por solventes y electrodeposición, se alcanzó una producción catódica de 33 tons. Los cátodos cosechados fueron comercializados como cátodos high grade.

Además de estos resultados promisorios, se establecieron parámetros de consumo que serán de beneficio para un estudio futuro de factibilidad económica.

Una sólida respuesta

- * Cadenas y eslingas **ACCO Y ERLAU**
- * Empaquetaduras de asbesto, vellurnoide, corcho **KLINGER**
- * Empaquetaduras líquidas, aceite penetrante, troyas químicas **THREE BOND**
- * Instrumental de procesos y control **YOKOGAWA**

ASISTENCIA TECNICA



IMPORTADORA

**JANSSEN
Y CIA. LTDA**

Agustinos 2356 Fono. 6998021 Télex. 340489 SANTIAGO
Sucursales ANTOFAGASTA Fono. 221099
CONCEPCION Fono. 223330



CompAir

HOLMAN

TENEMOS LA SOLIDEZ DE 185 AÑOS DE EXPERIENCIA

Los equipos Compair Holman respaldan la actividad
minera en el mundo desde 1801.

Esto es confiabilidad.

Representante: **SIMMA LTDA.**

San Eugenio 463

Teléf. 496509 - 746851 - 499661

Casilla 16535 - 9

Télex 240299 - SIMMA.CL Santiago

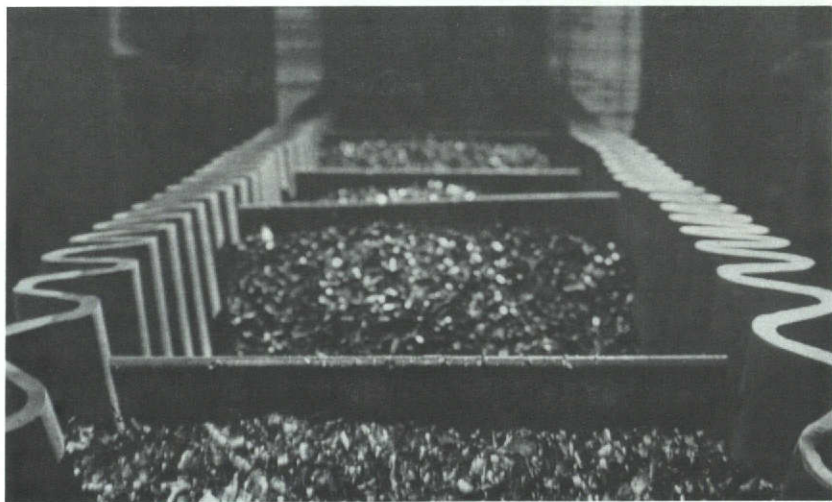


SIMMA



Demanda Internacional

NUEVOS PRODUCTOS MINEROS



*Por
Humberto Díaz Contreras
Gerente División Minera
del Bco. Concepción.*

Los lugares de la corteza terrestre en que se encuentran los metales de mayor uso por el hombre le dan al país que los posee, una riqueza económica especial. Los yacimientos pasan a ser un recurso estratégico importante para su desarrollo económico.

Se puede decir que el hombre ha buscado en la geografía de la tierra una materia prima conocida para

una tecnología conocida.

La ninguna uniformidad en la existencia de metales en la superficie de la tierra ha significado que algunos países carecen de ciertos materiales fundamentales para su industria. Como consecuencia surgió el concepto de metales y materiales estratégicos, especialmente en potencias industriales.

Debido al desarrollo científico y tecnológico de los últimos 50 años, especialmente en la industria electrónica, aeroespacial, nuclear, petroquímica, etc., se ha desarrollado y se sigue investigando una moder-

na tecnología para una nueva generación de materiales ("materiales avanzados") que están sustituyendo a los metales y materiales tradicionales en forma acelerada.

El hombre está buscando producir los materiales con las propiedades físicas y químicas y con la resistencia a altas temperaturas, a la corrosión y a las condiciones mecánicas que la industria moderna requiere.

La industria moderna exige materiales cada vez más durables, más resistentes, de menor peso y precio. Requiere por ejemplo que los moto-

res consuman menor energía, sean más livianos y tengan bajos costos de mantención.

Se puede decir que ahora los científicos buscan una tecnología desconocida para materias primas poco conocidas para producir con ellas materiales que cumplan funciones específicas (materiales ad-hoc).

Del mundo científico internacional llega a nuestros países, con retraso, y de a poco, la noticia de una verdadera explosión en la tecnología de los materiales.

El nuevo recurso estratégico es la "tecnología de los materiales avanzados", que viene a reemplazar al recurso "yacimientos mineros". Una nueva realidad se hace presente.

Las fuerzas impulsoras de esta verdadera revolución son las nuevas exigencias sociales, la alta tecnología y la inseguridad de las grandes potencias industriales por los llamados "materiales estratégicos".

Las materias primas al estado natural que se están utilizando para producir esta nueva generación de materiales están más ampliamente difundidas en la corteza terrestre (con algunas excepciones) que los metales tradicionales.

Los procesos tecnológicos son menos conocidos, patentables o secretos. Son de propiedad de las empresas o laboratorios que las producen.

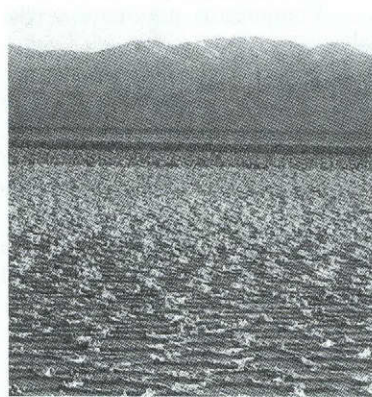
Países como Estados Unidos, Japón y los integrantes de la Comunidad Económica Europea destinan cuantiosos recursos a investigación acelerada para desarrollar nuevos materiales avanzados.

Según un estudio francés el crecimiento anual de la demanda de materiales avanzados es más del doble del crecimiento de la economía mundial.

Japón, un país pobre en recursos naturales, es el principal productor y usuario de materiales avanzados.

MATERIALES ESTRATEGICOS

Se define generalmente como material estratégico para un país aquél en que la cantidad que se necesita para usos civiles y militares esenciales excede del suministro na-



cional e internacional razonablemente seguro y para el que no hay sustitutos aceptables dentro de un tiempo prudente.

Cada país tiene su propia definición de material estratégico, su propia lista y sus reservas estratégicas, las cuales cambian constantemente y demandan recursos económicos inmovilizados que tienen un alto costo.

Algunos países lo definen mediante una ley o por una alta autoridad administrativa.

En los países en desarrollo generalmente no hay conciencia nacional respecto de lo que son las materias primas estratégicas.

En el Cuadro Nº 1 se observa que para los tres principales bloques comerciales del mundo, los metales más vulnerables son el cobalto, el cromo y el manganeso.

El cobalto es considerado como un material estratégico y crítico porque se usa como material a alta temperatura en los motores de aviones y en turbinas industriales a gas y como un catalizador para la desulfuración a petróleo. Es crítico porque los principales compradores importan, virtualmente, todo su suministro de cobalto primario y un gran porcentaje de estas importaciones vienen de países con ambientes políticos potencialmente inestables.

Los tres usos más importantes del cobalto son superaleaciones, como elementos de aleación en magnetos permanentes y en productos químicos. Otros usos importantes son carburos cementados, materiales de revestimiento y soldadura y como elemento de aleación en aceros.

El cromo es otro metal esencial para la industria moderna. Tiene sus principales usos en el acero inoxidable, herramientas y aceros termooestables, superaleaciones y en la industria química. En la industria aeroespacial, el cromo es esencial para las superaleaciones con base de níquel usadas en motores de turbina. Sin embargo, el consumo de cromo en la industria aeroespacial es sólo un pequeño porcentaje de la producción total de cromo. El mayor consumidor es la industria automotriz, a través del uso de convertidores catalíticos de acero inoxidable.

El manganeso es de vital importancia para los productores de acero, porque es un material esencial en la fabricación moderna de acero desulfurado.

En el Cuadro Nº 2 se muestra la dependencia de Inglaterra y Estados Unidos de un número mayor de materiales escasos.

Los países con alta dependencia de materiales estratégicos han diseñado variadas políticas para liberarse de los efectos negativos económicos y técnicos de esa dependencia. Las principales son:

- Mejor utilización de los materiales escasos mediante el diseño y fabricación por medio de computadoras.

- Aumento de la vida útil de los materiales escasos utilizando productos de mejor calidad y mejorando los métodos de fabricación.

- Mediante el reciclaje útil, esto es volver a utilizar los materiales estratégicos de alto valor recuperando los sobrantes, desechos y aparatos usados.

- Realizando esfuerzos de investigación en búsqueda de sustitutos.

EL PROCESO DE SUSTITUCION

El proceso de sustitución es acelerado y se produce desde tres perspectivas:

- La sustitución por reposición es realizada por razones puramente económicas; el material antiguo es de costo elevado, el material nuevo tiene menor precio.

- En la sustitución por desplaza-

miento se logra un mejoramiento del desempeño técnico que el material antiguo es incapaz de producir, sin importar demasiado el factor costo.

— La sustitución llamada “proactiva”, que es la que busca una alternativa de un nuevo material para reemplazar a aquéllos escasos llamados estratégicos.

Ejemplo de sustitución por reposición es el reemplazo del fierro por el aluminio en la producción de envases. Entre los años 1972 y 1984 el porcentaje de fierro utilizado en la producción de latas en el mundo bajó del 91 al 6 por ciento.

Ejemplo de sustitución por desempeño es la cantidad de cobre desplazado por las fibras ópticas. Por cada milla de cable se han sustituido entre 310 y 335 libras de cobre, según el segmento del sistema de telecomunicaciones.

Un ejemplo de sustitución “proactiva” es el reemplazo del platino, paladio y vanadio por polímeros.

En los materiales estructurales de aeronaves, en dos décadas el titanio sustituyó al aluminio y al acero y ahora el titanio está siendo sustituido por materiales avanzados compuestos.

MATERIALES AVANZADOS

(Cuadro Nº 3)

1. Materiales Compuestos

Estados Unidos, Japón y la CEE están desarrollando acelerados esfuerzos y destinando cuantiosos recursos en la investigación científica y tecnológica de nuevos materiales compuestos, con el objeto de minimizar los efectos negativos de su alta dependencia de minerales y metales estratégicos y para satisfacer las crecientes exigencias de la civilización informática.

Estados Unidos

Un presupuesto del orden de 200 millones de dólares de fondos federales sin considerar la cuantiosa inversión privada, está destinado a estudiar:

- Cerámicas
- Materiales de rápida solidificación

- Compuestos polímeros — cristal
- Compuestos polímeros — sintéticos
- Compuestos polímeros — membranas.

Japón

Es el mayor productor de cerámicas avanzadas (refinadas) para la industria electrónica y motores y es el segundo productor del mundo de componentes para informática y fibras de carbono.

El Gobierno japonés a través del Ministerio de Comercio Internacional e Industria (MITI) ha destinado para el período 1981—1990 la cantidad de 53 x 19⁹ yens, equivalentes a 400 millones de dólares con el objeto de investigar:

- Cerámica fina
- Membranas de polímeros
- Polímeros conductivos
- Plásticos de alto comportamiento.
- Aleaciones livianas resistentes a altas temperaturas
- Compuestos plásticos — fibras
- Compuestos metales — fibra
- Materiales fotoactivos.

La meta final es que estos materiales avanzados entren en producción antes del año 2000.

Comunidad Económica Europea (CEE)

En 1985 la entidad BRITE (Investigación Básica en Tecnología Industrial para Europa) inició un programa de 4 años con un financiamiento de 180 millones de dólares.

Otra entidad, EURAM (Investigación Europea en Materiales Avanzados) inició en 1987 un programa de investigación por un monto de 80 millones de dólares. Ambos presupuestos para investigar lo siguiente:

- Materiales livianos y superaleaciones
- Materiales compuestos:
 - Matriz orgánica y fibras
 - Matriz metálica y fibras
 - Matriz cerámica y fibras.

Los nuevos materiales objeto de estos estudios se usan en Europa en las siguientes áreas:

— Automotriz	25%
— Ingeniería mecánica	17%
— Ingeniería eléctrica y electrónica	17%
— Construcción	15%
— Empaque	9%
— Deporte y pasatiempos	3%
— Otros sectores	10%

El Cuadro Nº 4 muestra el crecimiento anual estimado para el período 1983—1990 para los distintos grupos de productos.

El Cuadro Nº 5 muestra el crecimiento de uso de materiales nuevos por sector en relación con el crecimiento de la producción de cada sector en Europa.

2. Metales livianos y superaleaciones ultralivianas

Los científicos y laboratorios de los países industrializados buscan afanosamente reemplazar a los metales estratégicos y críticos, tales como el cobalto, cromo, manganeso y otros, sustituyéndolos por aleaciones de los siguientes metales:

— Aluminio

La tendencia es la utilización de la pulvimetalurgia en superaleaciones solidificadas rápidamente para mejorar las propiedades de fatiga y desgaste, lo cual permitirá extender el uso de aluminio y sus aleaciones, a la fabricación de partes y piezas que actualmente se producen con participación de algunos metales estratégicos.

— Magnesio y litio

Son los metales más livianos que existen y también lo son sus aleaciones.

Sus limitantes son el bajo punto de fusión, el alto coeficiente de dilatación y su baja dureza.

El magnesio metálico se emplea en lo siguiente:

— Aleaciones con aluminio	45%
— Fundición a presión	21%
— Desulfuración de acero	8%
— Fierro fundido nodular	7%
— Reducción química	11%

El litio metálico tiene un gran potencial de uso en reactores nucleares de fisión donde se usa como propelente sólido. En forma de sales orgánicas, se utiliza como lubricante y como carbonato; se emplea como fundente en la sinterización de materiales cerámicos.

La producción anual de magnesio es de 266.000 toneladas y la de litio es de 22.000 toneladas.

Los investigadores buscan nuevas aleaciones de litio y magnesio mediante el procedimiento de pulvimetalurgia y solidificación rápida para obtener mayor resistencia a la temperatura, reducir el riesgo de incendio, endurecimiento por aditivos y mejorar las propiedades mecánicas y químicas.

- Titanio

El titanio es el noveno elemento en abundancia en la corteza terrestre donde se encuentra en forma de TiO_2 (Rutilo).

La producción alcanza a 3 millones de toneladas de TiO_2 y sus aplicaciones principales son pigmentos (85%) para papel, tintas, barnices, plástico, caucho y cerámica. El titanio metálico se emplea en la industria aeroespacial, energía eléctrica, electrodos, etc.

La investigación tiende a obtener aleaciones de titanio superplásticas mediante pulvimetalurgia a bajo costo y empleando la técnica de solidificación rápida con el objeto de obtener nuevos materiales para piezas eléctricas y el reemplazo del cobalto en supermagnetos permanentes.

3. Cerámica Avanzada

Se las define como materiales inorgánicos no metálicos, generalmente sometidos a altas temperaturas durante su proceso de fabricación o de utilización posterior.

Se distingue la cerámica tradicional de la cerámica avanzada por la alta tecnología de esta última.

La cerámica avanzada la constituyen materias primas de elevada pureza, tratadas en sofisticados procesos de control microindustrial, de alto costo y elevado valor agregado. Se le considera un material funcio-

nal para el sistema de que forma parte, aun si su participación es pequeña (ejemplo: el televisor). Asimismo, se la considera como uno de los materiales que ofrece la alta tecnología moderna de mayores ventajas comparativas y que tiene creciente incidencia en la formación del producto geográfico bruto en los países industrializados.

La cerámica avanzada tiene un amplio espectro de aplicaciones industriales innovadoras, como algunas de las siguientes:

a) Cerámica electrónica

- *Eléctrica*: aisladores, semiconductores, ferroeléctricos, superconductores, etc.

- *Magnéticas*: ferritas duras y ferritas blandas.

- *Óptica*: fibra ópticas, guías de ondas, pantallas, etc.

b) *Cerámica química*: sensores, catalizadores, resistencias a la corrosión, etc.

c) *Cerámica térmica*: aislación, conducción del calor, etc.

d) *Cerámica biológica*: injertos.

e) *Cerámica nuclear*: blindaje, combustible, etc.

f) *Cerámica industrial*: empaque de material electrónico, herramientas de corte, materiales resistentes al desgaste y al calor, turbocompresores en motores y turbinas a gas.

La cerámica está dando origen a una nueva generación de motores aplicada en cojinetes, revestimientos, bujías, casquetes de pistón, válvulas, aros de pistón, eje de rotor, estatores, etc.

Para contrarrestar su fragilidad se está desarrollando la cerámica reforzada con fibras de carbono.

Las materias primas para la fabricación de cerámicas avanzadas son componentes difundidos en la corteza terrestre, tales como: sílice, alúmina, carburo de silicio, nitruro de silicio, litio, tierras raras, etc.

El Mercado

Durante los últimos años, Japón ha tenido aproximadamente un

50% del mercado mundial, Estados Unidos el 30% y el resto del mundo el 15 por ciento.

Se proyecta un crecimiento muy rápido de la producción en otros países de Asia, particularmente en Corea, país que en 1983 exportó 363 millones de dólares, principalmente a Japón, y está formando 500 ingenieros por año, especializados en cerámica.

Se estima que para el año 2000 la cerámica avanzada tendrá en el mundo una demanda diez veces mayor que la actual, o sea, de un valor del orden de 200.000 millones de dólares.

4. Tierras Raras

En el siglo XIX los químicos le dieron el nombre de tierras raras (TR) a un grupo de elementos con propiedades químicas muy relacionadas. Se trata de una familia de 17 elementos de la columna 36 de tabla periódica: escandio, itrio, lantano, lutecio, torio, cerio, neodimio, cadalio, terbio, tulio, europio, holmio, disprosio, erbio, zirconio, samario y praseodimio.

Estos elementos se encuentran en más de 25 minerales diferentes, pero sólo 55 de ellos tienen TR sobre 10%. Los más comunes son: monasita (fosfatos), xenotima (fosfatos) y bastnaesita (fluorocarbonato).

El contenido de tierras raras en los minerales se expresa como porcentaje de óxido de esos elementos (REO).

Existen en el mundo reservas comprobadas por alrededor de 50 millones de toneladas de REO. China tiene el 80% de este potencial; Estados Unidos el 10 por ciento. También registran reservas: Australia, Sudáfrica, India, Tailandia, Malasia, Indonesia y Corea.

En América Latina los países que registran existencia de TR son Brasil y Chile.

La producción mundial de concentrados de TR es todavía relativamente pequeña:

Bastnaesita	18.000 tons. de REO
Monasita	15.000 tons. de REO
Otros	1.000 tons. de REO

La tecnología de concentración incluye concentración gravimétrica, magnética, flotación, extracción por solvente y pirometalurgia.

Casi todos los procesos de purificación involucran tres etapas: ataque químico al mineral, separación en solución y terminado en sólido.

Mercado

La demanda está creciendo rápidamente, en las tres áreas en que se emplean, con los porcentajes que se indican: catalizadores (33%), vidrio y cerámica (37%) y metalurgia (24%). Estos mercados conforman el 94% y el 6 restante lo constituye el mercado de las lámparas y magnetos.

La tasa de crecimiento anual de la demanda de tierras raras es del orden del 4 por ciento.

Las aplicaciones que están creciendo más rápidamente son: en motores de aviones, líneas de transmisión de alta temperatura, turbinas de gas, magnetos, sustancias fosfóricas, piedras de encendedores, etcétera.

Los precios de la mayoría de las TR han estado descendiendo y se espera que continuará esa tendencia de manera que la producción industrial está buscando plantas a una escala económica y con flexibilidad adecuada para bajar los costos de producción.

Los principales productores mundiales son RHONE-POULEWC con plantas en Francia, Estados Unidos y Australia; MOLYCORP de Estados Unidos y NUCLEMON de Brasil.

5. Superconductores

El superconductor es un material que no presenta resistencia a la corriente eléctrica y, en consecuencia, en la transmisión no pierde energía en forma de calor.

Desde principios de siglo se conocen materiales superconductores que tienen esta cualidad a muy baja temperatura.

A principios de 1987 se descubrieron materiales superconductores a temperaturas más altas y este hecho ha revolucionado al mundo científico que trabaja frenéticamente

en perfeccionar esta tecnología, tanto en Estados Unidos como en Japón, Francia, Rusia y Brasil.

Se estudian materiales que resisten altas temperaturas y tengan densidades de corriente y campos magnéticos cada vez más elevados.

Cálculos preliminares estiman que la generación y transmisión de energía eléctrica mediante superconductores podría ser entre 20 y 50% más eficiente.

Las centrales podrán almacenar energía generada en horas de bajo consumo en circuitos superconductores.

Un motor eléctrico superconductor podría ser 10 veces más liviano que un motor tradicional.

Los elementos componentes básicos de los superconductores serían: cerámicas, tierras raras y, por ahora, cobre.

Si la población del siglo XXI va a disponer de mayor cantidad de energía eléctrica y más barata mediante equipos superconductores, interesa a nuestro país saber qué pasará con los metales que hoy día componen el equipo eléctrico, especialmente el cobre.

Lo más probable es que disminuya la intensidad de uso específico de cobre y otros metales por máqui-

na, pero a su vez probablemente aumentará considerablemente el uso de energía eléctrica, porque llegará a lugares del mundo donde hoy no existe y se empleará en aplicaciones en las que hoy no se usa por razones de costo.

En consecuencia, no está claro todavía cómo compensarán estos factores con respecto al mayor o menor uso del cobre asociado a los superconductores.

PERSPECTIVAS

Alguien dijo que lo que el mundo científico e industrial sabe sobre nuevos productos mineros es apenas la punta de un inmenso "iceberg" que provocará durante el transcurso del siglo XXI una revolución total en el uso de materiales.

Lo único que parece claro a estas alturas es que los países productores de minerales y metales tradicionales cuyas economías son dependientes en alto grado de ellos, serán afectados tarde o temprano, total o parcialmente.

¿Qué podemos hacer?

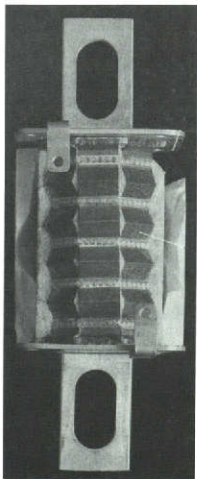
Primero: estudiar y comprender cada vez mejor lo que está ocurriendo en la tecnología de nuevos productos mineros y sus efectos sobre nuestras producciones.

Segundo: diseñar una estrategia para los productores tradicionales, buscando nuevas aplicaciones o su participación en los materiales avanzados.

Tercero: enfrentar el problema de fondo, planificando una estrategia de largo plazo de ámbito nacional para elevar nuestra inferioridad científica y tecnológica, realizando investigaciones de alta especialización en nuestras universidades y laboratorios.

Al mismo tiempo, debemos buscar en nuestro suelo la existencia de algún material de los que demandan los nuevos productos mineros y transformarnos, si ello es posible, en país abastecedor de los centros industrializados.

En todo caso, una estrategia de diversificación de exportaciones mineras aparece desde ya como muy adecuada.



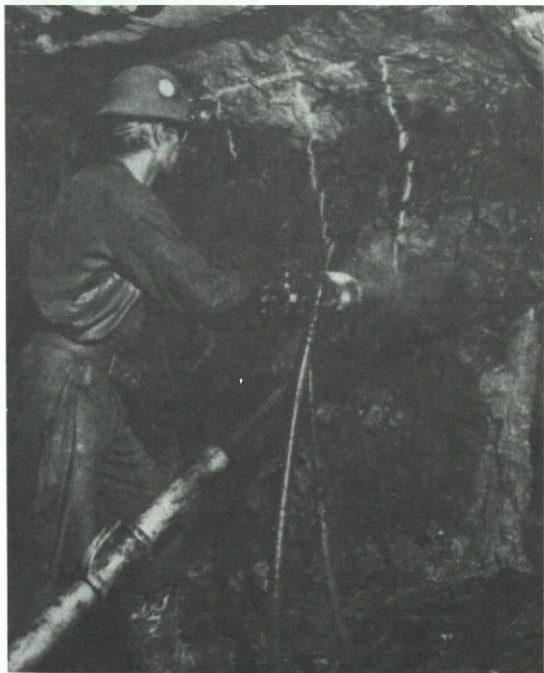
PERFORACION HIDRAULICA

*Por Luis Navea Dantagnan
Ing. Civil de Minas
Académico U. de Atacama*

La industria minera en la constante tarea por minimizar sus costos de explotación, está atenta a los cambios tecnológicos que ocurran para analizar sus posibles aplicaciones en los actuales procesos. La perforación hidráulica con su nueva técnica producto de las investigaciones, constituye hoy en día una problemática de decisión en esta materia.

Los sistemas hidráulicos ofrecen muchas ventajas con respecto a la perforación neumática: flexibilidad de trabajo, uso eficiente de la energía, mayor velocidad de penetración, bajo nivel de ruido, menor contaminación ambiental, dimensiones compactas.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta criterios económicos a fin de evaluar correctamente estos equipos perforadores.



La primera perforadora hidráulica apareció en el mercado en el año 1953. Tres años después, 20 marcas industriales se encontraban trabajando en el nuevo sistema.

La introducción de las perforadoras de accionamiento totalmente hidráulico se produjo a comienzos de 1970, marcando en la historia minera un hito muy importante en el rendimiento de las faenas mineras.

Después de un largo período en que las perforadoras neumáticas mantuvieron una hegemonía total, la perforación hidráulica comenzó a desarrollarse en forma rápida y a operar paralelamente con el sistema neumático en aplicaciones mineras y obras civiles. Su desarrollo actual muestra una clara superación con respecto a esa primera generación. Hoy se encuentra en una etapa de perfeccionamiento del sistema y sus

componentes, pero ya hay evidencia suficiente para estimar que es técnica y económicamente la mejor alternativa futura en materia de perforación.

Para comprender en forma cabal el funcionamiento de un sistema hidráulico, hay que partir desde el análisis más elemental: qué es la hidráulica, cómo funciona, cómo está compuesta, cuáles son sus características, propiedades, en fin,

conocer en su totalidad este sistema que revoluciona el mercado. Una vez conocido hay que analizar su aplicación, sus virtudes y defectos, las razones por las cuales conviene o no su uso.

La hidráulica se define como aquella parte de la mecánica que trata el agua u otros fluidos en movimiento.

El funcionamiento de los sistemas hidráulicos se fundamenta en el principio enunciado por el sabio francés Blaise Pascal (1623 - 1662) y que en términos generales se expresa de la siguiente forma: "La Presión aplicada a un fluido confinado se transmite con el mismo valor a todos los puntos del fluido y a las paredes del depósito que lo contiene".

SISTEMAS HIDRAULICOS

Durante el último tiempo los sistemas hidráulicos han sido introducidos en la mayoría de los equipos



que, de uno u otro modo, realizan grandes trabajos; esto se debe a que la transmisión de la energía hidráulica es a menudo superior a los mé-

todos convencionales.

Básicamente un sistema hidráulico se compone de dos partes:

a) La bomba que impulsa el fluido, y

b) El cilindro que transmite la fuerza hidráulica en trabajo.

Se genera la presión por la bomba que impulsa el fluido a través de las tuberías, y sobre la cara del émbolo, en un cilindro operador, intercambiando la fuerza hidráulica en trabajo.

Para que el sistema funcione de un modo continuo hay que considerar otros elementos:

i) Un depósito para el fluido: para poder seguir bombeando el líquido y continuar con el ciclo, se necesita más fluido.

ii) Válvula de seguridad: limita la presión máxima del fluido dentro del sistema.

iii) Válvula selectora: controla el sentido en que circula el fluido.

Con estos elementos se puede afirmar que el sistema hidráulico



**Confiable
y la más alta
tecnología en
explosivos industriales**



Monseñor Sótero Sanz 182 Teléfono 2319764
Teléx 341004 IRECO CK Santiago, Chile

REACTIVOS DE FLOTACION

PARA LA MINERIA

COLECTORES:

SF-113

• Xantato Isopropílico de Sodio

SF-114

• Xantato Isobutilico de Sodio

SF-203

• Dialquil Xantoformiato

SF-323

• Isopropil Etil Tionocarbamato

ESPUMANTE

MIBC

• Metil Isobutil Carbinol

Reactivos Fabricados por:

Reactivos de Flotación S.A.

Empresa filial de Shell Chile S.A.C. e.l.



Oficina Matriz:

Av. Providencia 1979 Tel.: 2317085 - Santiago

Planta Shellflot

Calle Iquique 5830 Tel.: 224171 - Antofagasta.

elemental está completo.

FLUIDOS

Estos se definen como los medios utilizados para la transmisión de la fuerza desde la bomba a los mecanismos de trabajo (cilindros y motores hidráulicos). El fluido tiene tanta importancia como cualquier otro elemento del sistema hidráulico. De hecho, se calcula que alrededor del 70% de las fallas que eventualmente se producen, se debe al mal uso de los fluidos. Al referirnos a fluidos hidráulicos lo hacemos principalmente a un aceite mineral, en extremo refinado. Cabe hacer notar que este fluido puede ser un derivado de un proceso de petróleo crudo en diferentes formas, ya que es una mezcla de diversos hidrocarburos; por lo tanto, el fluido resultante no es uniforme.

BOMBAS

La mayoría de las bombas hi-

dráulicas son similares en su diseño a los motores neumáticos.

Dentro del sistema, las bombas tienen la misión de convertir la potencia mecánica en potencia hidráulica y proveer al sistema de un flujo de aceite en relación a su volumen, el cual está siempre dado en lts/seg.

El concepto de caudal corresponde al volumen de aceite que entrega la bomba por unidad de tiempo.

Generalmente se distinguen tres tipos principales de bombas hidráulicas:

a) Bombas de engranajes: Son las más utilizadas por su sencillez y economía.

b) Bombas de paleta.

c) Bombas de pistones. Se conocen dos tipos (bombas de pistones radiales y bombas de pistones axiales).

MOTORES

Un motor hidráulico puede compararse con una bomba hidráulica

que trabaja al revés, pues es accionado por el líquido que envía la bomba.

En la práctica, es frecuente que se acople una bomba con un motor hidráulico para conseguir una adecuada transmisión de la fuerza, en cuyo caso ocurre lo siguiente:

a) La bomba es accionada mecánicamente y aspira el fluido que manda a presión hasta el motor.

b) El motor es accionado por el líquido a presión que le manda la bomba y, a su vez, actúa mecánicamente sobre la carga.

Por lo tanto, el motor hidráulico es un convertidor de fuerza en movimiento giratorio.

SISTEMA DE PERFORACION

El diseño es similar al de una Perforadora Neumática. Posee un pistón que transmite la energía de impacto a la barra de perforación y una válvula de control que dirige el fluido hidráulico a presión, generan-

¡ FUGAS DE FLUIDOS HIDRAULICOS !

CORRIJA ESTE PROBLEMA
SOBRE LA MARCHA

Wynn's

HYDRAULIC SYSTEMS CONCENTRATE

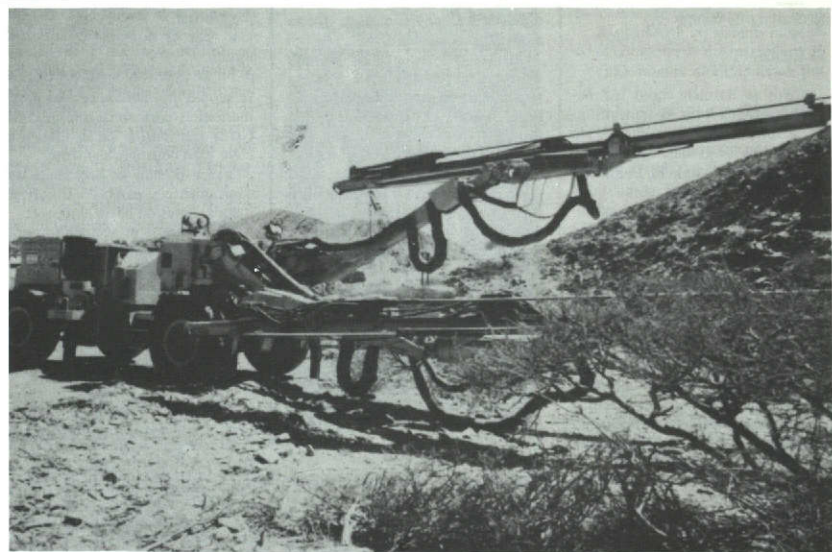
- | | |
|---|--|
| - FUGAS DE FLUIDOS | - Disminuye espumamiento |
| - Devuelve elasticidad a "O" Rings y sellos | - Disminuye fricción, temperaturas y desgastes |
| - Evita "Down Time" por este problema | - Controla oxidación del fluido |

VICTORIANO HERMOSILLA PIÑERO



GERENCIA GENERAL
H. Salas 673 - Fono: 225338 - Cas. 1177
Concepción - Chile
Telex: 360119 VIHERC K

GERENCIA VENTAS SANTIAGO
Santa Elena 1569 - Fono: 5567303
Santiago - Chile
Telex: 340148 VIHERS CK



do el movimiento alternativo en avance y retroceso del pistón.

Con respecto a la parte rotatoria, difiere de la perforación neumática solamente en que es propulsado por un motor hidráulico en lugar de uno de aire.

En la actualidad, el sistema de perforación hidráulica ha alcanzado un desarrollo significativo en:

- Técnicas de fabricación.
- Calidad de los materiales.
- Subsistemas integrados (válvulas multifuncionales).
- Controles para mejorar la eficiencia del sistema.
- Fluidos resistentes al fuego.
- Transmisión.

En comparación a estos logros alcanzados, los factores que limitan el desarrollo de las perforadoras neumáticas son:

- La tensión de la barra de perforación.
- El volumen y peso de la maquinaria.
- El consumo de aire comprimido.
- La limitada presión del aire comprimido.

La potencia de la perforadora neumática está actualmente restringida a 10 KW, debido a las limitaciones del aire comprimido. Estudios han demostrado que este equipo ha llegado a un estancamiento en su desarrollo desde fines de la década de 1960. Hoy solamente se pueden esperar mejoramientos marginales con las perforadoras neumá-

ticas de diseño convencional.

Es comprensible, entonces, el gran avance en la técnica de perforación hidráulica; bastaría decir que la presión de trabajo, con respecto a la energía neumática, es del orden de 40 veces superior.

Las perforadoras hidráulicas pueden perforar en todo tipo de terreno; es más, una perforadora hi-



dráulica cubre toda la gama de aplicaciones de las perforadoras neumáticas.

VENTAJAS

a) Aumento en la velocidad de perforación: En la práctica se ha llegado a obtener del orden de 50 a 100% de mayor velocidad de perforación que la perforadora neumática, sin aumentar la tensión en la barra y, a la vez, reduciendo un 33% el consumo de energía.

b) Mayor vida útil de los aceros de perforación: Con la presión que entrega la energía hidráulica es posible usar pistones delgados, con diámetros similares al adaptador de culata, permitiendo así la transferencia óptima de energía a través del culativo, barra, bit y roca.

c) Disminución del nivel de ruidos: Al no tener escape de aire, el nivel de ruidos es mucho más bajo, reduciéndose éste entre 10 a 15 dB, especialmente en las bajas frecuencias.

d) Mayor disponibilidad mecánica: Después de 10 años de experiencia en distintas faenas mineras, se ha comprobado que los componentes hidráulicos tienen una disponibilidad mecánica mayor que los elementos neumáticos.

DESVENTAJAS

Como este es un producto nuevo, existen una serie de detalles que deben ser corregidos en el tiempo, y si no es así hay que aceptar los co-

mo inherentes al sistema. Las desventajas principales son:

- En casos de fugas, el fluido a presión puede contaminar el ambiente.

- Hay que rellenar de aceite y cambiarlo de vez en cuando.

- Las uniones deben estar bien apretadas para evitar pérdidas.

- Las exigencias de limpieza tanto en la mantención como en la reparación son permanentes y deben ser exhaustivas.

- Se necesita personal de servicio más capacitado.

CRITERIOS UTILIZADOS PARA LA SELECCION

- Alta aceleración.
- Libertad en la geometría.
- Alta capacidad de carga.
- Capacidad de amortiguación de golpes.

Aparte de estas razones, hay que pensar que los criterios de selección tienen que estar relacionados con las condiciones locales de trabajo, así como también con el método de explotación que se utilice.

CONCLUSIONES

La aplicación de esta tecnología ha aumentado la productividad en la perforación de roca a un costo de operación más bajo que la perforación neumática. Algunos de los aspectos que se pueden destacar son: notable ahorro de energía, mejoramiento en las velocidades de penetración, mejoramiento en la vida útil de los aceros de perforación,

ventajas en la ergonomía del sistema de trabajo y del operario (niveles de ruido, visibilidad en el frente de trabajo, aire exento de aceite...).

De acuerdo a los aspectos nombrados y los antecedentes de los estudios, se deduce que la perforación hidráulica es más sofisticada, por lo cual requiere de una obra de mano especializada, una mantención y asesoría técnica periódica por parte de sus fabricantes. Esto implica que su utilización requiere de una inversión más alta. Para justificar esta inversión, el equipo debe tener un grado de utilización máximo, lo cual se consigue complementándolo con una mecanización parcial de las labores y equipos de extracción de marina.

Todo esto indica que en nuestras faenas mineras, se puede usar más intensamente la perforadora hidráulica en el corto plazo, aunque no es posible pensar que los operarios mineros vayan a desechar muy rápidamente sus sistemas convencionales de perforación. Además, antes que nada es preciso hacer un acabado estudio de costos alternativos.

BIBLIOGRAFIA

- Manual Atlas Copco.
- Perforación Hidráulica, artículo de Patricio Campos.
- Tesis U.D.A. 1983: Perforación Hidráulica.
- Papers de fabricantes sistemas hidráulicos.

BOLETIN MINERO

Organo Oficial de la Sociedad Nacional de Minería

Suscripciones: Teatinos 20 Of. 33
Santiago

Tels.: 6981696 - 6981652

ORO Y PLATA EN AMERICA LATINA

Por Alberto J. Terrones

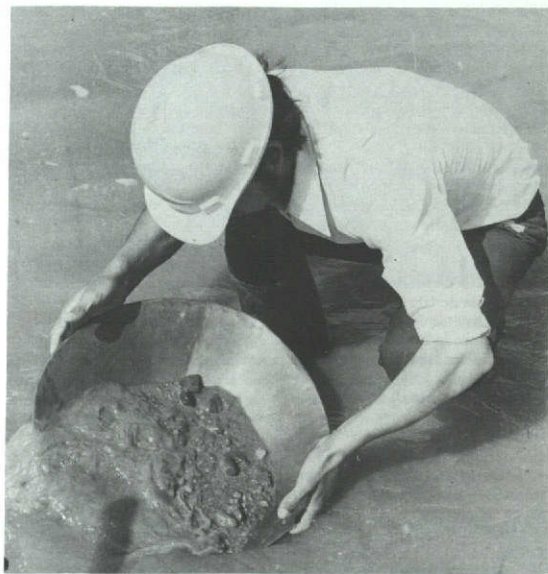
Ampliamente conocido por sus aportaciones a la investigación y al desarrollo de la minería latinoamericana, el Ing. Alberto J. Terrones L. fue el segundo geólogo graduado en México y el primero en recibir la Maestría en Ciencias Geológicas en la UNAM.

Actualmente es vicepresidente y director técnico de la Agrupación de Medianos Productores de Minerales de México A.C., y profesor titular de la asignatura Yacimientos Minerales, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Como lo indican elocuentemente las cifras de producción de oro y plata que se reportan en las tablas 1, 2 y 3, la América Latina, en general, ha alcanzado un lugar prominente, a nivel mundial, en la producción de estos dos metales preciosos durante la primera mitad de la presente década.

Aun cuando en la producción aurífera la América Latina tan sólo representó en 1985, el 12,5% de la producción mundial, resulta significativo observar que el crecimiento de la producción de oro, en América Latina, fue de un 141,9%; o sea cinco veces más que el incremento de la producción mundial que fue de 28,6%.

Con México y el Perú a la cabeza, la producción de plata en la América Latina, para 1985 (Tabla 2), representó el 46,2 por ciento de la producción mundial. Al respecto, cabe señalar el hecho de que



durante el período 1980-1985, el incremento de la producción aurífera latinoamericana fue de un 28,8%, o sea 1,5 veces mayor que el crecimiento de 19,4% que marcó la producción mundial (de Occidente) para ese mismo período.

A nivel mundial, con una producción de 63.300 kgs., Brasil ocupó el cuarto lugar, en 1985, como productor de oro. Dicha producción representó un incremento de un 362,5% con respecto a la producción de 13.752 kgs. de 1980. En términos generales, del total de

la producción aurífera del Brasil para 1985, el 18% provino de minas de oro en roca firme y el 82% restante se recuperó de placeres ("garimpos"). El contenido de oro en las reservas "medidas" (positivas) de mineral y de aluviones auríferos para 1984, se cuantificó oficialmente en 399.083 kgs.

En 1985, Colombia y Chile registraron el octavo y noveno lugar como productores (Tabla 3) auríferos a nivel mundial y el segundo y tercer lugar, dentro de la producción de oro en la América Latina

(Tabla 1). El 55% de la producción aurífera colombiana provino de la producción de placeres auríferos en los departamentos de Antioquía y El Chocó, que significó una producción de 14.500 kgs. de oro con 4.450 kgs. de plata y 450 kgs. de platino. El 45% restante provino de explotaciones ya más eficientes y mecanizadas en la producción de aluviones auríferos a lo largo del río Cauca. La explotación selectiva de cuarzo aurífero en la localidad de Marmato podrá incrementar en 700 kgs. anuales de oro, la producción colombiana. Además, se han reportado importantes descubrimientos de oro en las provincias de Guainía, Vaupés y Guavira, en la región limítrofe con Brasil.

El caso de Chile presenta también un espectacular incremento de 151,8% en su producción de oro durante el período 1980-1985. El descubrimiento del yacimiento de El Indio tuvo la virtud de despertar la conciencia de la importancia que tenía para Chile la capacidad de producción aurífera que se había perdido desde 1940. A diciembre de 1982, se reportaba en El Indio, una reserva de mineral positivo y probable con un contenido de 51.000 kgs. de oro, 426.000 kgs. de plata y 90.000 tons. métricas de cobre. De la producción de 17.217 kgs. de oro reportada para 1985, el 78% provino de yacimientos propiamente auríferos, el 1% de yacimientos auroargentíferos y el 21% como subproducto metalúrgico de la producción de cobre.

En 1985 la producción de 10.202 kgs. de oro extraída de la operación a tajo abierto de la famosa mina de Pueblo Viejo, en la República Dominicana, descendió en un 12% con respecto a la producción de 1980. Actualmente la República Dominicana ocupa el cuarto lugar como productor aurífero en la América Latina, lo cual da una idea sobre la magnitud del yacimiento de Pueblo Viejo, que desde el inicio de su explotación, a principios de la década de los años 70, ha sido considerado como uno de los depósitos auríferos más importantes del Hemisferio Occidental. Históricamente este yacimiento podría cata-

logarse como el caso de una "bella durmiente", que permaneció olvidada por más de 400 años. Se trata de la antigua mina de Diego Colón, que a la consumación de las conquistas de México y del Perú fue totalmente abandonada hasta 1971. La producción aurífera de Pueblo Viejo proviene del capote oxidado de un yacimiento polimetálico de plata-plomo-zinc en sulfuros masivos. A diciembre de 1985, se consideraba una reserva con un contenido de 43.000 kgs de oro en óxidos y un contenido de 325.000 kgs. de oro en sulfuros masivos. Se prevé una menor recuperación del oro en sulfuros y el consiguiente mayor costo de beneficio, lo cual implicará una mayor reducción de su producción.

Ha resultado un tanto sorprendente el incremento en la producción de oro en Ecuador, dando un gran salto de 93 kgs. reportados en 1980, a los 9.870 de oro registrados en 1985. Gran parte de esta producción proviene del yacimiento

de oro diseminado en la Cordillera de Nambija, en la provincia de Zamora, que cubre una extensión de 4 kilómetros cuadrados en la región oriental de este país. Otro yacimiento diseminado que ofrece importantes expectativas es el denominado La Tigresa, en la región de Ponce Enríquez. Se anticipa también un importante incremento de producción de oro proveniente de yacimientos polimetálicos de plata-cobre-zinc de los distritos mineros de Portobelo, de Plata-Tochi y de Junín.

En Bolivia el contrabando en gran escala de la producción de placeres auríferos de la región subandina, así como del oriente boliviano, en la región limítrofe con Brasil, disimula la verdadera importancia de la producción estimada para 1985 (Tabla 1) de 6.350 kgs. de oro (puede estar aún por debajo de la producción real que se infiere, podría ser superior a los 10.000 kgs. anuales de oro).

TABLA 1
AMERICA LATINA
PRODUCCION COMPARADA DE ORO 1980 - 1985

	1980 Kgs.	1985 Kgs.	Variación 1980 - 1985 %
Argentina	310	1,400	(+) 351,6
Bolivia	930	6,350 (E)	(+) 582,8
Brasil	13,752	63,500	(+) 362,5
Colombia	15,625	26,400 (E)	(+) 69,0
Costa Rica	519	500 (E)	(-) 3,7
Chile	6,836	17,217	(+) 151,8
Ecuador	93	9,870	(+) 10,512,9
Honduras	55 (E)	60 (E)	(+) 9,1
El Salvador	90 (E)	100 (E)	(+) 11,1
México	6,096	7,524	(+) 23,4
Nicaragua	2,300 (E)	1,500 (E)	(-) 34,8
Perú	3,917	5,856	(+) 49,5
Republica Dominicana	11,595	10,202	(-) 12,0
Venezuela	540 (E)	1,000 (E)	(+) 28,6
Totales	62,659	151,579	(+) 141,9

(*) Producción Mundial: 943.000

1'212,800 (+) 28,6

América Latina

% de la Producción Mundial

(E) ESTIMADO

(*) PAISES DE OCCIDENTE

México y el Perú comparten el primer y segundo lugar, respectivamente, como productores de plata, a nivel mundial (Tabla 2). Asimismo, como productores auríferos, el paralelismo geológico y minero persiste en forma relevante por la circunstancia de que su producción de oro representa un subproducto de la producción de yacimientos polimetálicos de plata-plomo-zinc-cobre y de yacimientos auroargentíferos y como subproducto metalúrgico de la explotación de yacimientos de pórfido cuprífero.

Sin embargo, el reciente énfasis que paralelamente se viene dando en ambos países en la exploración y explotación tanto de placeres auríferos, como de yacimientos predominantemente auríferos, augura un importante incremento durante los próximos años, en la producción de oro tanto de México como del Perú.

En el caso de México, en 1900, se produjeron 12.647 kgs. de oro, producción que se incrementó en 1910 a 41.420 kgs., colocándose

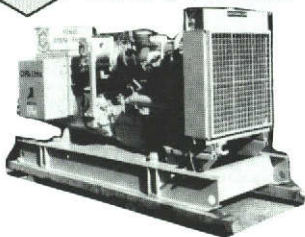
México en ese entonces entre los principales países productores de oro a nivel mundial. Después del período más convulsivo de la Revolución Mexicana (1911-1916), la producción anual de oro se estabilizó durante 1917 y 1942, entre los 20.000 y 25.000 kgs. A partir de 1943, la producción aurífera mexicana declinó paulatinamente hasta alcanzar los niveles actuales, por debajo de los 10.000 kgs. anuales. El abandono de la explotación de placeres auríferos (1911), así como la suspensión prematura de la producción de yacimientos predominantemente auríferos (1930-1937) y el agotamiento de reservas de alta ley en yacimientos auroargentíferos, fueron las causas determinantes del descenso de la producción aurífera mexicana. En la producción de oro para 1985 (Tabla 1), de 7.524 kgs., el 1,1% representó producción de placeres; el 3,8% fue producción de yacimientos predominantemente auríferos; el 71,5% provino de la

explotación de yacimientos auroargentíferos; el 15,5% fue derivada de producción polimetálica de plata-plomo-zinc y el 8,1% restante correspondió a subproducto metalúrgico de la explotación de los yacimientos de pórfido cuprífero de La Caridad y Cananea. Actualmente el contenido de oro en las reservas positivas probables y posibles de mineral aurífero en México, se estima en el orden de 1,38 millones de kilos de oro. El 53,9% de estas reservas se encuentra en placeres, el 4,4% en yacimientos predominantemente auríferos, el 21,9 en depósitos auroargentíferos y el 19,8% restante, en yacimientos polimetálicos y de pórfidos cupríferos. En virtud del impulso que se viene dando desde 1983 a la exploración y explotación de placeres de oro y de otros yacimientos predominantemente auríferos, se estima que para 1992 la producción de oro en México alcanzará nuevamente el nivel de los 20.000 kgs. anuales que dejó atrás en 1942.



Cía. Constructora Industrial y
Comercial Panamericana Ltda.

CIPA Ltda.



GRUPOS ELECTROGENOS PARA ARRIENDOS

CATERPILLAR Y DALE
DESDE 35 KVA - 320 KVA
EQUIPOS NUEVOS
SERVICIO EN TERRENO

CIPA ES SERVICIO CONFIABLE

Romero 2928 Fonos: 94573 - 91812
Casilla 2651 - Stgo.

Minermat LTDA

MINERIA - INGENIERIA - MATERIALES
ASESORIAS TECNICAS

- Equipos de precipitación por Zinc Merrill-Crowe de 12 TPD a 300 TPD de capacidad.
- Cañerías, fittings y bombas para manejo de soluciones.
- Rociadores tipo "Wobbler", especiales para cianuración en pilas.
- Hornos y crisoles de fundición.
- Equipos para refinación oro-plata.
- Pruebas metalúrgicas (Percolación en columnas)
- Ingeniería en Diseño de plantas.



- Transportadores de alta pendiente (Hasta 85°) para minerales.

José Dgo. Cañas 2937 - Fonos 742369-2238020
Télex: 440476 MINER - CZ Ñuñoa, Santiago-Chile.

El Perú registró un incremento en su producción de oro de un 49,5% durante el período 1980-1985 (Tabla 1), para alcanzar una producción de 5.856 kgs. en 1985. Buena parte de este incremento refleja el impacto de la producción de los placeres auríferos de San Antonio de Poto, en la región de Puno y en el río Madre de Dios, en el sureste amazónico peruano. En 1985, se reportó de los placeres de San Antonio de Poto, una producción de 179 kgs. de oro, o sea, el 3,1% de la producción anual del Perú. Por otra parte, la producción aurífera 1.173 kgs. de oro que se obtuvo en 1985, en el yacimiento auroargentífero de Orcapampa, en la región de Arequipa, representó el 20% de la producción de oro en 1985, convirtiéndose en una de las principales fuentes de producción de este metal precioso dentro de la industria minera peruana. De todos modos, la producción de oro afinado de Centromin, de 1.729 kgs., lograda durante 1985, representó un 29,4% de la producción total. Dicha producción originalmente provino en su mayor parte de la explotación de yacimientos polimetálicos de plata-plomo-zincocobre. La expansión en el dragado de los placeres de oro de Pampa Blanca significará un incremento a mediano plazo de 1.100 kgs de oro por año. Además es de esperar a corto plazo un incremento adicional en la producción de oro en los yacimientos auroargentíferos de Orcopampa y de Nueva California, en Yungay, que contribuirán a la expansión de la producción aurífera, que podría sobrepasar los 10.000 kgs. anuales.

El incremento que se observa (Tabla 1) en la producción aurífera de Argentina constituye una manifestación más de la importancia que se le viene dando en ese país a un mayor desarrollo de la industria minera. Hasta ahora, gran parte de la producción de oro proviene de los yacimientos de oro de Farallón Grande en Catamarca y del yacimiento polimetálico de Cerro Castillo, en la provincia patagónica de Chubut. Se reporta también la ex-

plotación en menor escala de algunos placeres auríferos. Además se perfila a corto plazo producción adicional de oro de las minas Erika y Sofía, en Neuquén; de La Mexicana en la Rioja; del Valle del Cura, en San Juan, y de algunas localidades en Tierra del Fuego, en el extremo sur del continente.

En Venezuela, en la cuenca del río Orinoco, se ha venido explotando selectivamente el yacimiento de cuarzo aurífero de El Callao, con una producción anual de 600 kgs. de oro. Las reservas de este yacimiento reportan un contenido de oro en el orden de los 37.000 kgs. de oro. El incremento de producción aurífera venezolana proviene de placeres auríferos en los estados de Bolívar y Amazonas, limítrofes con Brasil y Guyana.

En Centroamérica, Nicaragua es el principal productor de oro. Cifras oficiales reportaron una producción de 8.710 kgs. de oro y 17.100 de plata, durante el período 1979-1984. Los yacimientos de El

Limón, La Luz, Bonanza, Siuna y Rosita fueron la fuente de esa producción. En el caso de la mina de La Luz, en 1984, se reportaba una reserva positiva con un contenido de 2.480 kgs. de oro y 31.000 de plata. La limitada producción de oro en Costa Rica y El Salvador proviene de modestas operaciones mineras en yacimientos vetiformes auroargentíferos; en tanto que la producción aurífera de Honduras representa un subproducto de la explotación del yacimiento polimetálico de El Mochito. En Panamá, en la región del istmo de Darién, se cuenta con importantes posibilidades para la producción de oro, hasta ahora inactiva, en los yacimientos de Espíritu Santo, Caná, Río Turquesa y Río Pito.

La distribución de la capacidad productiva de plata, por orden de países productores según su volumen de producción alcanzado en 1985, se puede apreciar en el Cuadro A:

CUADRO A
AMERICA LATINA
DISTRIBUCION DE PRODUCCION DE PLATA
1985

	KGS. de	(%) de la producción Latinoamericana
(I) Principales Productores:		
México	2.152.959	46,8
Perú	1.670.000	36,3
Subtotal	3.822.959	83,1
(II) Productores Medianos:		
Chile	516.256	11,2
Bolivia (1)	10.800 (E)	0,2
Argentina	90.000	2,0
Honduras	60.000 (E)	1,3
República Dominicana	49.145	1,1
Subtotal	726.201	15,8
(III) Productores Menores:		
Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador y El Salvador	52.475	1,1
Total	4.601.635	100,0

(1) Producción de Bolivia estimada en base a datos estadísticos disponibles a mediados de 1985. En 1984, Bolivia produjo 142.300 kgs. de plata.

En 1985 la producción de plata en México registró un incremento de un 46,2% con respecto de la producción de 1980. El 0,9% de los 2,15 millones de kilos de plata producidos durante 1985 provino de la producción de yacimientos auríferos. El 27,4% (590.000 kgs. de plata), correspondió a producción de yacimientos auroargentíferos. El 65,1% (1.401.000 kgs de plata) se produjo en la explotación de yacimientos polimetálicos de plata-plomo-zinc y el 6,6% restante (142.600 kgs de plata) se recuperó de la producción de los yacimientos de pórfido cuprífero de La Caridad y Cananea. Actualmente, se estima un contenido de plata de 71,52 millones de kgs. de plata en las reservas positivas, probables y posibles de minerales argentíferos. El 10 de esta reserva corresponde a contenidos de plata en yacimientos auríferos. El 37,5 % a contenidos en minerales auroargentíferos. El 24,1% a yacimientos polimetálicos y el 37,4% a contenidos de plata recuperable de la explotación de yacimientos de pórfidos cupríferos. A un ritmo de producción de 2,5 millones de kgs. de plata por año, la "vida operativa" de estas reservas de plata estaría en el orden de los 29 años.

La producción peruana de plata para 1985 significó un incremento de un 22,7% (Tabla 2) con respecto a la producción de 1980. Como en el caso de México, gran parte de la producción argentífera del Perú proviene de la explotación de yacimientos polimetálicos de plata-plomo-zinc-cobre. Se ha reportado que esta producción representa en términos generales, el 59 por ciento de la producción total de plata. En base a la misma información, el 36 por ciento de la producción provendrá de yacimientos auroargentíferos con los distritos mineros de Orcopampa y Cailloma a la cabeza.

Finalmente el 5% restante de la producción argentífera peruana correspondería a la recuperación metalúrgica de plata proveniente de la explotación de los yacimientos

TABLA 2
AMERICA LATINA
PRODUCCION COMPARADA DE PLATA 1980-1985

	1980 Kgs.	1985 Kgs.	Variación 1980 - 1985 %	
Argentina	68.200	90.000	(+)	32,0
Bolivia	172.500	10.800 (E)	(-)	93,7
Brasil	24.394	26.000	(+)	6,6
Colombia	2.344	6.920 (E)	(+)	195,2
Costa Rica	50 (E)	55 (E)	(+)	10,0
Chile	348.520	516.256	(+)	48,1
Ecuador	1.370	-	-	-
Honduras	48.000	60.000 (E)	(+)	25,0
El Salvador	4.665	4.500 (E)	(-)	3,5
México	1.472.557	2.152.959	(+)	46,2
Nicaragua	18.750 (E)	15.000 (E)	(-)	20,0
Perú	1.360.500	1.670.000	(+)	22,7
República Dominicana	51.315	49.145	(-)	4,2
Totales	3.573.105	4.601.635	(-)	28,8
(*) Producción Mundial	8.330.000	9.950.000	(+)	19,4
América Latina (%) de la Producción Mundial	42,9%	46,2%		
(E) Estimado				
(*) Países de Occidente.				

de pórfidos cupríferos de Toquepala, Cuajene y Cerro Verde. En cuanto a las reservas de plata, cifras provisionales indican que a fines de 1985, el Perú tenía un contenido de plata de 43 millones de kilogramos en las reservas potenciales de diversos tipos de yacimientos minerales. Asumiendo un ritmo de producción anual de 1,8 millones de kgs. anuales de plata, la "vida operativa" de las mencionadas reservas argentíferas peruanas estaría posiblemente en el orden de los 24 años.

Durante el período 1980-1985, Chile ha ido a la cabeza de los medianos productores de plata. En 1985, su producción de 516.256 kgs. de plata registró un incremento de un 48% con respecto a la producción de 1980. De la producción de plata para 1985, se ha

reportado que un 38,6% correspondió a producción argentífera recuperada metalúrgicamente de la producción cuprífera chilena. En base a datos de producción para 1985 se ha calculado que el 18,3% del total de dicha producción de plata se produjo de la explotación de yacimientos aurocupríferos, con el famoso yacimiento de El Indio a la cabeza. El 43,1% restante provino de la producción de yacimientos polimetálicos de plata-plomo-zinc.

Estimaciones basadas en cálculos preliminares de reservas potenciales, indican para Chile, a fines de 1985, una reserva de plata en el orden de los 36 millones de kilogramos de plata, la cual, a un ritmo de producción anual de 700.000 kgs./año, representaría teóricamen-

te una "vida operativa" para 51 años. Todo lo anterior confirma el alto grado de diversificación minera alcanzado por Chile durante el período 1980-1985.

La producción estimada de 10.800 kgs. de plata para Bolivia (Tabla 2), en 1985 no parece reflejar la realidad. Ciertamente que el cierre de minas y la notable disminución de la producción minera a causa de conflictos sociales, así como de los bajos precios de los metales, ha deteriorado considerablemente la capacidad productiva de la minería boliviana, pero no como para reducir tan drásticamente su producción argentífera. Es más, para 1982, se reportó una producción de 172.900 kgs. de plata; 191.200 kgs. para 1983 y 142.300 kgs. para 1984. Por todo esto, es muy improbable que la producción de plata en Bolivia haya descendido hasta los 10.800 kgs. en 1985. En cuanto a la potencialidad de reservas de mineral argentífero en Bolivia, se estima que a fines de 1985 se indicaba un contenido de 2,2 millones de kilos de plata. Asumiendo una posible producción anual de 150.000 kgs de plata la "vida operativa" de dichas reservas, andaría en el orden de los 15 años.

La producción de plata en Argentina creció en un 32% durante 1985 (Tabla 2). El 40 por ciento de la producción de 90.000 kgs. de plata que se reportó en Argentina para 1985, provino del yacimiento polimetálico de El Aguilar, en el norte argentino. El resto provino de la explotación de otros yacimientos polimetálicos y auroargentíferos. Tentativamente, con cifras provisionales, se estima que Argentina cuenta con una reserva potencial de plata en el orden de los 27 millones de kilos. Gran parte de esta reserva se estimó en el yacimiento inactivo de cobre porfídico de Bajo Alumbrera. Ello explica el volumen tan aparentemente desproporcionado de reservas posibles de plata en Argentina.

En los casos de Honduras y de la República Dominicana, la producción de plata va en declive. En Honduras, la principal fuente de

TABLA 3
PRODUCCION MUNDIAL DE ORO Y PLATA (*)
PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES 1985

ORO		
	Kilogramos	(%) de la Producción Mundial
(1) República de Sudáfrica	673.000	55,5
Canadá	86.000	7,1
Estados Unidos	79.000	6,5
Brasil	63.300	5,2
Australia	57.000	4,7
Filipinas	38.500	3,2
Papúa, Nueva Guinea	33.200	2,7
Colombia	26.400	2,2
Chile	17.200	1,4
Total	1.073.900	88,5
(*) Producción Mundial	1.212.800	100,0

PLATA		
	Kilogramos	(%) de la Producción Mundial
México	2.153.000	21,6
Perú	1.670.000	16,8
Estados Unidos	1.190.000	12,0
Canadá	1.180.000	11,8
Australia	1.090.000	11,0
Total	7.283.000	73,2

(**) Producción Mundial

(1) Fuente: "Mining Annual Review". Mng. Journal, Londres, junio 1986.

(*) Países de Occidente.

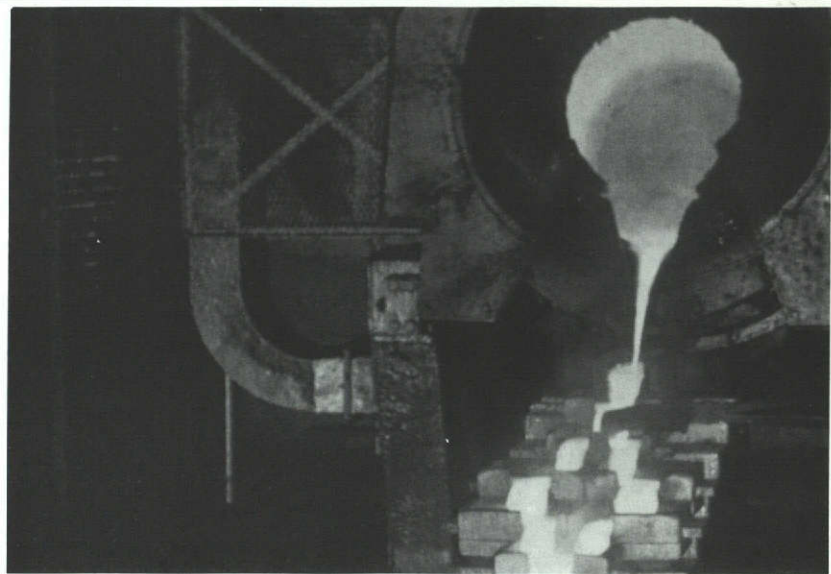
(**) Fuente: Handy & Harman.

producción sigue siendo la famosa polimetálica de plata-plomo-zinc de El Mochito. La disminución en las leyes de esos metales ha requerido de un método de explotación mixto, a tajo abierto y subterráneo, con una producción diaria de 2.500 tons. métricas de mineral. Se ha reportado una reserva potencial de 930.000 kgs. en el contenido de plata.

En lo que respecta a la producción argentífera de la Mina de Pueblo Viejo, en la República Dominicana, el agotamiento de las reser-

vas de mineral oxidado y la disminución de recuperación de plata en la zona de sulfuros masivos posiblemente traerá una existencia de 82.300 kgs. de plata en los óxidos y de 603.700 en la zona de sulfuros. A un ritmo de producción de 50.000 kgs. anuales de plata la "vida operativa" de estas reservas argentíferas posiblemente estaría en el orden de los 14 años.

Hasta ahora no se perfila indicación alguna sobre la posibilidad de que alguno de los países productores menores de plata pueda incre-



mentar sustancialmente su producción argentífera.

"METALS WEEK"

El Metals Week recientemente ha publicado un artículo referido a los notables incrementos que se esperan para la producción aurífera de Brasil, y cuyo extracto agregamos a este trabajo, por su interés.

Los comerciantes privados del oro, los banqueros y corredores estiman que la producción oficial registrada de oro aumentará en más del triple a raíz de una autorización gubernativa, implantada el 15 de diciembre, que les permite comprar oro directamente de los productores independientes.

La acción del Gobierno ha terminado con el derecho exclusivo del Banco Federal de Ahorros para comprar de los "Garimpeiros" —productores que operan en las corrientes de agua de la jungla brasileña— a precios fijados por el Gobierno, deduciendo los impuestos. De-

bido a los bajos precios que el Banco Federal de Ahorros estaba ofreciendo por el oro y en vista de los elevados impuestos, más de la mitad de la producción brasileña de oro había salido del país en forma de contrabando, desde que el metal fue descubierto durante el siglo pasado.

Una reducción preliminar de los impuestos decretada por el Gobierno en septiembre de 1987, casi logró triplicar la producción registrada en octubre. José Barbosa Mello, director de la recientemente constituida Asociación de Productores, Comerciantes y Compradores de Oro, informó que la producción oficial —incluyendo la de las minas subterráneas de grandes compañías, como "Morro Velho" de Anglo American —ascendió antes de septiembre a un término medio mensual de sólo 1,4 toneladas métricas pm. El aumento de la producción oficial en el mes de octubre alcanzó a 4 toneladas métricas. Dicho incremento procedía primordialmente

de los Garimpeiros considerando que la producción de las grandes compañías es registrada, gravada con impuestos y vendida en su mayor parte al Banco Central del Gobierno.

Antes de entrar en vigencia las nuevas normas oficialmente, los agentes del Banco de Ahorros del Gobierno efectuaban todas las compras de los Garimpeiros en recintos de la jungla tropical como "Serra Pelada", una gran operación a tajo abierto en el Estado Septentrional de Para. Allí, unos 20.000 Garimpeiros explotaban por los menos 7 toneladas métricas al año.

Una fuente gubernativa informó que mientras Brasil producía oficialmente 25,6 toneladas métricas en 1986, la producción efectiva probablemente alcanzaba a 80 toneladas métricas, siendo la diferencia vendida informalmente fuera del país. Del total de las 25,6 toneladas métricas oficiales, los Garimpeiros producían oficialmente 16,3 toneladas métricas, mientras que las compañías 9,37 toneladas métricas.

Alternativa para procesos mineros

ENERGIA EOLICA

Autores de este trabajo:

*Guillermo Catalán M.
Departamento de Ingeniería
Mecánica. Facultad de Ciencias
Físicas y Matemáticas. Universidad
de Chile. Xpert, Ingeniería y
Producción Ltda.*

*Jorge Romo
Departamento de Ingeniería
Eléctrica. Facultad de Ciencias
Físicas y Matemáticas.
Universidad de Chile.*

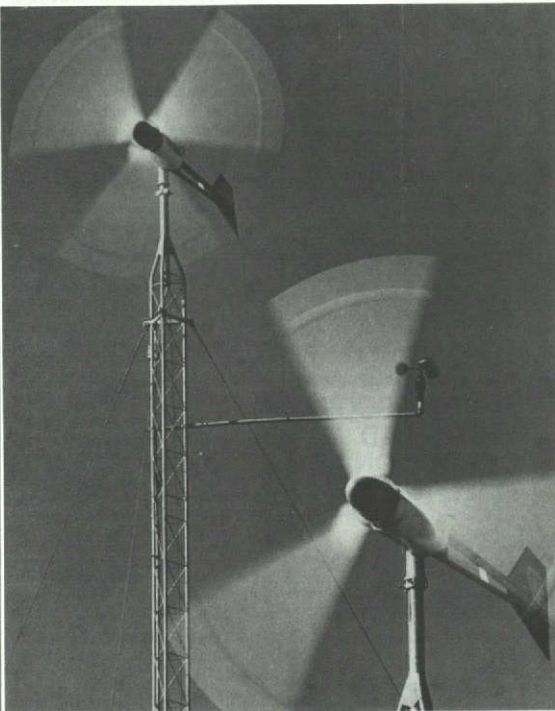
El aprovechamiento de la energía del viento es particularmente atractivo en nuestro país, reconocido mundialmente como uno de los de mayor potencial eólico.

El gran desarrollo tecnológico de los últimos años ha permitido que el uso de los molinos de viento se extienda a la generación eléctrica de potencias cada vez más elevadas, haciendo atractivo su uso en procesos industriales o de minería.

En este artículo se presentan algunas consideraciones generales sobre las características y evaluación de la energía eólica y aerogeneradores.

Desde los comienzos de la historia, el hombre ha hecho uso de la energía del viento en tareas que mejoran la calidad de su vida. Es así como en China y Persia, mucho antes de nuestra era, se utilizaban molinos de viento para moler granos y elevar agua desde pozos. Con el tiempo, los molinos se desarrollaron en diferentes lugares, siendo ampliamente utilizados en Europa y luego en América.

Durante el último siglo, el enorme avance tecnológico ha permitido la construcción de aerogeneradores de gran tamaño, capaces de captar y



proporcionar grandes potencias eléctricas. El desarrollo de este tipo de máquinas se ha visto estimulado a partir de la crisis energética de 1973 y porque, desde entonces, el hombre ha tomado clara conciencia de la necesidad de buscar fuentes de energía "renovables" ante el peligro cierto del agotamiento de los recursos fósiles no renovables. La atmósfera terrestre opera como un

"motor térmico" alimentado por el sol, que genera los vientos debido a la transferencia de energía calórica. Mientras exista el sol se dispondrá de este recurso. Estimaciones conservadoras permiten calcular una potencia disponible de 10 millones de MW, 10 veces superior a la potencia hídrica disponible en la tierra.

El aprovechamiento de la energía eólica es especialmente atractivo en países como el nuestro. Chile es reconocido como uno de los lugares del mundo de mayor potencial de energía eólica, particularmente en la zona costera y en el extremo sur del país, como puede apreciarse en el mapa de recursos eólicos mundiales de la Figura 1.

Los usos más frecuentes de los molinos de viento, en la actualidad, son el bombeo de aguas subterráneas, la producción de energía eléctrica en comunidades aisladas, energía para ayudas marinas, estaciones remotas y meteorológicas, generación para protección catódica de equipos o piezas subterráneas y, en los últimos 20 años, la generación a gran escala con generadores acoplados a las redes de distribución eléctrica. Cabe indicar que actualmente las potencias desarrolladas por aerogeneradores van desde los 15 kW

hasta 1.2 MW, con hélices de dos o tres palas con diámetros entre 20 y 53 m, aprovechando vientos de 6 a 15 m/s, lo que hace interesante su uso en procesos industriales o de minería, donde es posible obtener ahorros significativos de energía.

La generación de electricidad a partir del viento requiere conocer la magnitud del potencial eólico en el lugar de interés y diseñar o especificar adecuadamente el aerogenerador necesario.

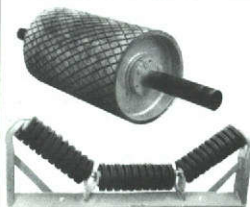
CARACTERISTICAS

Como se mencionó, una característica fundamental de la energía eólica es la de ser un recurso renovable. Pero, además, tiene la gran ventaja de ser una fuente no contaminante y, a diferencia de la energía obtenida por combustión, no genera ningún tipo de gas ni libera calor. La polución audible puede

mantenerse en niveles extremadamente bajos.

Una característica importante de la energía eólica es su discontinuidad, debido a que los vientos son esencialmente de intensidad y dirección variables. Esto conduce, en muchos casos, a la necesidad de acumulación de energía para los momentos en que no hay viento o cuando éste es insuficiente para poner en marcha el generador. En el caso de pequeños generadores la acumulación se hace en baterías. Para grandes generadores eléctricos (100, 200 kW o más) la acumulación no es factible por razones económicas. Sin embargo es posible, en lugares donde existe una red de distribución eléctrica, operar con el generador acoplado a la red, entregando energía a ésta cuando hay viento y extrayéndola cuando no lo hay. Este sistema puede llegar a ser altamente atractivo en industrias y

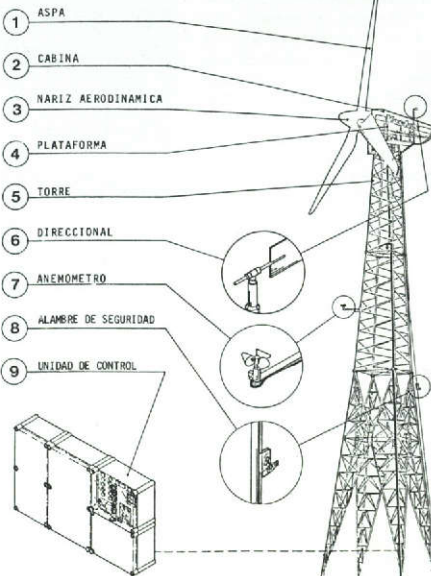
**CUANDO ESCOJA
CALIDAD
LA ELECCION ES
REVESOL**



REVESOL

LOS 3 ANTONIOS 2170 ☎ 2250421 - 747191
CASILLA 465 V-21 - TELEX 346187 REVESOL CK

PARTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA DE 55 KW



plantas mineras, debido a la economía de energía que representa.

EVALUACION DE LOS RECURSOS EOLICOS

La evaluación del recurso comienza con la elección del lugar adecuado para la instalación de este tipo de molinos. Obviamente, la primera condición que debe satisfacer el sitio es la de ser ventoso. Información sobre los vientos en regiones determinadas pueden obtenerse de los registros de las estaciones meteorológicas cercanas y si el sitio parece interesante, puede realizarse una campaña de mediciones locales de viento durante períodos más o menos largos de tiempo. Es importante también realizar un estudio detallado del lugar para determinar el sitio más adecuado para la instalación del molino; por ejemplo, los estrechamientos de valles o colinas y verificar que no existan obstáculos que impidan el paso del viento o generen torbellinos que entorpezcan una buena operación. Un dato importante a obtener es la velocidad media anual del viento, puesto que define, en última instancia, la potencia promedio que podrá extraerse del sistema. Hay que recordar que la potencia es proporcional a cubo de la velocidad. Velocidades medias registradas de más de 5 m/s indican un lugar promisorio para la generación eoloelectrónica.

Desde el punto de vista del diseño, es necesario definir el rango de velocidades de viento dentro de los cuales la operación es posible. Para velocidades sobre este rango, el molino deberá disponer de algún sistema de protección automático para evitar esfuerzos demasiado grandes sobre las palas o la estructura, que pueden dañarlo (velocidad de puesta en "bandera"). Esto se obtiene habitualmente con palas de orientación variable, con respecto a la velocidad del viento.

LOS AEROGENERADORES

Las partes esenciales de un aerogenerador son la turbina eólica, que capta la energía del viento, el gene-

rador eléctrico y un sistema de transmisión mecánico para transferir la energía mecánica del eje de la turbina al eje del generador. Adicionalmente, el aerogenerador dispone de diversos elementos como sistemas de control y orientación, etc. A la fecha se han desarrollado diversos tipos de turbinas eólicas, siendo la más utilizada la del tipo hélice. En la figura 2 se ilustra un aerogenerador con este tipo de turbina, indicando sus partes principales.

La energía del viento, incidente sobre el plano de la hélice, es proporcional al cuadrado del diámetro de ésta y al cubo de la velocidad del viento. Así, para generar valores razonables de energía, son necesarias hélices de considerables dimensiones ubicadas sobre altas torres donde la velocidad del viento es mayor y menos perturbada. Para evaluar la potencia eléctrica que se puede obtener en los terminales de un generador, es necesario considerar las eficiencias de la turbina, del sistema de transmisión y del generador, lográndose eficiencias globales cercanas al 30%. A modo de ejemplo, se puede determinar que para una velocidad de viento de 6 m/s con una hélice de 4 m de diámetro, es posible generar alrededor de 400 W y con la misma hélice, pero con un viento de 12 m/s, se generarán aproximadamente 3,2 kW.

La generación puede ser en corriente continua (c.c.) o en corriente alterna (c.a.). Un aspecto importante es el control del sistema para generar la potencia adecuada con una tensión de magnitud constante y, en el caso de c.a., de frecuencia constante, a pesar de las variaciones del viento y del consumo. Para esto se han desarrollado tanto sistemas de control mecánico (inclinación variable de las aspas) como sistemas de control eléctrico (carga eléctrica, corriente de excitación del generador, etc.). En la mayoría de los casos se requiere c.a., siendo lo más frecuente el uso de generadores sincrónicos trifásicos, cuyas velocidades de operación nominal son altas (del orden de 1000 rpm) comparadas con la velocidad normal de giro de la hélice (aprox. 100 rpm), lo

que hace necesario incluir en el sistema de transmisión un cambiador de velocidad (caja de engranajes u otro).

El aerogenerador puede operar aislado de los sistemas eléctricos convencionales, alimentando pequeños consumos. En este caso, es necesario mantener una tensión de magnitud y frecuencia constantes y disponer de un sistema de almacenamiento (baterías) para acumular energía en las horas de alta producción y utilizarla en las horas de viento insuficiente. Por otra parte, aerogeneradores de gran potencia pueden operar conectados a un sistema eléctrico, en paralelo con otros sistemas convencionales. En este caso, la frecuencia de la red impone la velocidad de giro de la hélice, de manera que variaciones en la velocidad del viento se traducen en variaciones de la potencia entregada por el aerogenerador al sistema eléctrico. Así, en las horas de mayor viento el aerogenerador entregará una potencia considerable, pudiendo ahorrarse combustible en las centrales convencionales.

ALGUNOS ASPECTOS ECONOMICOS

En el caso de los aerogeneradores, para una potencia de generación dada, el criterio para la elección de la velocidad de operación nominal será la obtención del menor costo posible por kWh.

Determinada la velocidad media del viento, debe analizarse la frecuencia de ocurrencia de los valores extremos, es decir, los máximos y mínimos. Bajas velocidades, con respecto a la media, pueden ser frecuentes, pero la potencia útil a extraer será pequeña, lo que indica que no es necesario imponer una velocidad de arranque (velocidad a partir de la cual la hélice se pone en movimiento) demasiado baja. Velocidades de arranque pequeñas implican un número elevado de palas, encareciendo el costo del aparato. Por otro lado, velocidades altas con

respecto a la media serán poco frecuentes y la energía útil promedio a extraer en este rango será pequeña, exigiéndose una gran resistencia a todo el sistema, lo que nuevamente implicará costos de construcción elevados. Es necesario, entonces, la elección de una velocidad de puesta en "bandera" acorde a este criterio. Velocidades nominales normales de vientos de operación se encuentran en un rango entre los 7 y 14 m/s; para velocidades medias de viento entre 5 y 10 m/s o más.

Los costos del kW de potencia instalada varían de acuerdo al tama-

ño de la máquina y de la tecnología y materiales empleados, situándose entre los US\$ 300 y US\$ 1.000 para potencias entre 200 y 8.000 kW.

CONCLUSIONES

El aprovechamiento de la energía eólica en la generación de electricidad es, sin duda, una opción atractiva frente a otros sistemas de generación eléctrica, especialmente en países como el nuestro.

La posibilidad de construir sistemas eólicos de generación eléctrica

de potencias elevadas, acoplados a la red de distribución, permite que grandes consumidores de energía, como son la industria y la minería, encuentren en estos sistemas un mecanismo interesante de ahorro.

La complejidad del diseño y especificación de un sistema eoloelectrico requiere de un estudio cuidadoso que incluye desde la selección del lugar y evaluación de los recursos eólicos hasta la determinación del comportamiento mecánico y eléctrico del aerogenerador en situaciones normales y extremas.

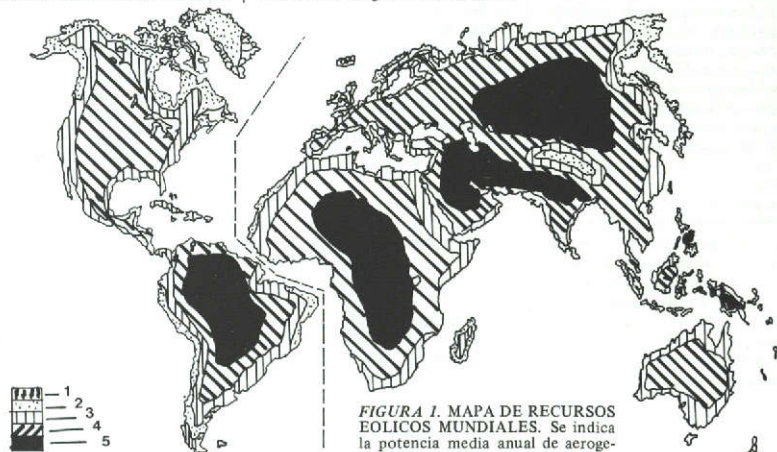


FIGURA 1. MAPA DE RECURSOS EOLICOS MUNDIALES. Se indica la potencia media anual de aerogeneradores diseñados para 11.25 m/s nominales. 1) 134 Watts/metro cuadrado; 2) 98-134 Watts/metro cuadrado; 3) 59-98 Watts/metro cuadrado; 4) 20-59 Watts/metro cuadrado; 5) Menos de 20 Watts/metro cuadrado.

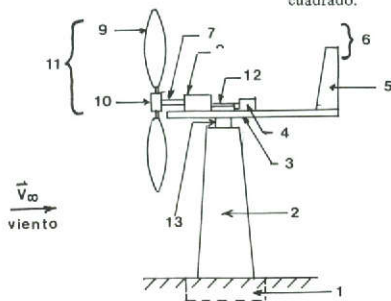




FIGURA 2. AEROGENERADOR. 1) Fundación; 2) Torre; 3) Plataforma; 4) Generador; 5) Sistema de orientación (veleta u otro); 6) Sistema de transmisión; 7) Eje de baja velocidad; 8) Caja de engranajes; 9) Aspa; 10) Cubo; 11) Sistema rotor (hélice); 12) Eje de alta velocidad; 13) Cabezal de soporte.

Band-It®



ABRAZADERAS DE ACERO INOXIDABLE DE USO MULTIPLE PARA SER FABRICADAS EN EL LUGAR QUE SE UTILICE, CUALQUIER DIAMETRO EN ANCHOS DE 1/4" A 3/4".



ABRAZADERAS DE TORNILLO SIN FIN TOTALMENTE DE ACERO INOXIDABLE PARA DIAMETROS DESDE 1/4" HASTA 7".



IMPORTADORA COMERCIAL
VILLELLA, RAMIREZ LTDA.

AGUSTINAS N° 1504 - 1510 Casilla 21117* c/21 SANTIAGO
Telex 340260 ICOVIR = VTR
Teléfonos: 6962307-6990203-6993539

40 AÑOS SIRVIENDO A LA INDUSTRIA CHILENA

- * Trabajos en rieles de ferrocarril, desviadores, cruzamientos y travesías.
- * Elevadores, montacargas, polipastos, grúas, puentes y torres.
- * Máquinas, herramientas, tornos, fresas, taladros, prensas, guillotinas y plegadoras
- * Estructuras, proyectos especiales y servicio técnico.
- * Servicios en cepillos puente hasta 6 mts., tornos, taladros, etc.

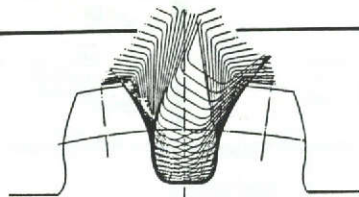
ROYAL

maestranza/fca. maquinarias

ROSENBERG & CIA. LTDA.

Guérnica 4697 Tel. 792620 Cas. 4749
Télex 340260 ROSENMAQ SANTIAGO

MD Maestranza Diesel FABRICACION DE ENGRANAJES ESPECIALES



- Stub recortados
- Cónicos
- Coronas sin fines
- Helicoidal doble
- Dentados internos
- Levas excéntricas

Fresados engranajes hasta 2.000 mm. diámetro
Santa Elena 1433 Fonos: 5567439 - 5550938
Casilla 9617 - Santiago

Longyear



- | | |
|-----------|---|
| LONGYEAR | (Equipos de Sondaje) |
| SECO | (Perforadoras Neumáticas) |
| BOART | (Aceros y Brocas de Perforación) |
| BOART HWF | (Brocas de Rotación para Carbón) |
| WENDT | (Herramientas de Diamante para Rectificado) |

Representante en Chile
LONGYEAR CO. CHILE LTDA.

LAS DALIAS 3900 (MACUL)
FONOS 2215580 - 2215866

TELEX 340442 LONGYR CK
S A N T I A G O

GUIA MINERA

Worthington

DRESSER

WORTHINGTON AND PACIFIC PUMP

EL MEJOR APOYO PARA LA
MAS CONFIABLE ELECCION
BOMBAS REVESTIDAS Y
METALICAS PARA PULPA



SISTEMAS CONTRA INCENDIO,
BOMBAS HORIZONTALES Y VERTICALES
COMPRESORES DE AIRE PORTATILES
Y ESTACIONARIOS

Huelén N° 58 Dpto. C. Fono 2235971
747630 Casilla 1704 - TLX. 340261 WORCHI CK
Providencia - Santiago

AMM
CONSULTORES

CENTRO DE ASESORIAS ADMINISTRATI-
VAS, AGRICOLAS, MINERAS Y MECANI-
CAS:

ASESORIAS MINERAS EN:

- Catastros
- Evaluaciones
- Faenas Mineras
- Proyectos Mineros

ASESORIAS ADMINISTRATIVAS EN:

- Administración y Manejo de Personal
- Sistemas Administrativos
- Contabilidad Minera
- Financiamiento de Proyectos Mineros

ASESORIAS MECANICAS EN:

- Diseños Mecánicos
- Mantenimiento Mecánica de Motores Diesel y Bencineros
- Sistemas Mecánicos (Mantenión)

ASESORIAS AGRICOLAS EN:

- Suelos
- Agricultura
- Horticultura
- Producción Animal
- Proyectos Agrícolas

FINANCIAMIENTO MINERO - MANTENCIÓN DE MAQUINARIAS - MENSU-
RAS - LEVANTAMIENTO INTERIOR Y EXTERIOR DE MINAS - TOPOGRAFIA
EN GENERAL - ASESORIAS MINERAS Y AGRARIAS - ASESORIAS LEGA-
LES

PROYECTOS EN SISTEMAS
OPERATIVOS INTEGRADOS

ALHDE 3069 SAN MIGUEL
FONO: 5216117

MORANDE 440 OF. 14

CASILLA: 51303
CORREO CENTRAL
SANTIAGO

THURSTON S.A.

Las Bellotas 199 of 83
Fono: 2515205-2512319 cas. 9032
TLX 341584 ENRTHUCK Santiago

Representantes Exclusivos de:

Mirrlees Blackstone Ltd

Motores Diesel Industriales y Marinos, Grupos generadores

Brush Electrical Machines Ltd

Motores Eléctricos, Generadores

Lister Petter Ltd

Motores Diesel Industriales y Marinos PETER

Davy Morris Ltd

Equipos de levante, Grúas Punte

Hawker Siddeley Power Plant Ltd.

Grupos Generadores

Stanton (export) Ltd

Tubería hierro fundido nodular

Metalock International Assocation

Reparación en frío de hierro fundido

Philadelphia Resins Corporation

Resinas Epoxicas para fundaciones
Fijación planchas desgaste chancadores

Motores, Grupos Electrógenos

Primeros en ventas, calidad y servicio
El más completo stock

VEV
ALEMANIA



Motoreductores
Motovariadores



Motores Electricos



OFERTAS
EN STOCK

Grupos Generadores Diesel y Gasolina

LUREYE

CONFIABILIDAD
ABSOLUTA

AV. VIC. MACKENNA 1503. F: 5561729 5566772 5565671

LANZ es en CHILE



Captación de polvo, limpieza de aire, recuperación de finos precipitadores electrostáticos.

Equipos para extracción de carbón Rozadoras.



Motores Bencineros de 4 tiempos 3 a 18 HP

Filtros para líquidos y aire comprimido



Correas transportadoras de tejidos sintéticos y de cables de acero.

Lámpara para minas, de casco y estacionarias.



Mezcladoras intensivas para arenas de moído. Material cerámico y otras masas Granuladoras para polvos diversos. Teletizadoras

Filtros de vacío de banda horizontal, secado y lavado de pulpas



Cintas transportadoras "Solid Woven" impregnadas en PVC

Trituración, selección, transporte y molinda de material.



Corazas y bolas de acero-cromo para molinda seca y húmeda.

Acoplamientos hidráulicos.



Vehículos LHD y camiones tolva para interior mina.

Motores industriales Ford a bencina, diesel y a gas. Grupos generadores



Bombas para pulpas espesas y abrasivas a grandes distancias.

Membranas de polietileno HD para impermeabilización de muros de tranque, pozas solares - depósitos - fondos espesadores y canchas de percolación.



Motores diesel enfriados por aire de 6 a 68 HP.

Cortadoras de muestras. Limpia toberas Gaspé.



Sistemas móviles de chancado y manejo de material.

Filtros automáticos de presión espesadores.



MULLERHAUSER

Carros agitadores de concreto para trabajos en túneles.

Explosores.



Analizadores en línea, detectores de metales, automatización de concentradoras.

Winches y slushers.



Bombas de concreto de doble pistón.

Motosierras neumáticas para mina.



Sistemas de pesaje y dosificado.

Separadores Magnéticos, Electrolmanes.



Ventiladores para minas Perforadoras para muestreo. Perforadoras de gran diámetro.

Ventiladores, Sopladores Industriales.



Equipos de compactación de suelos Vibradores de concreto.

Aparatos de control y mando para interior y mina EX-FI-Proof.



Motores trifásicos hasta 2000 KW. Motores de corriente continua. Motores a prueba de explosión

Equipos para manejo y preparación de ánodos y cátodos en refinería.



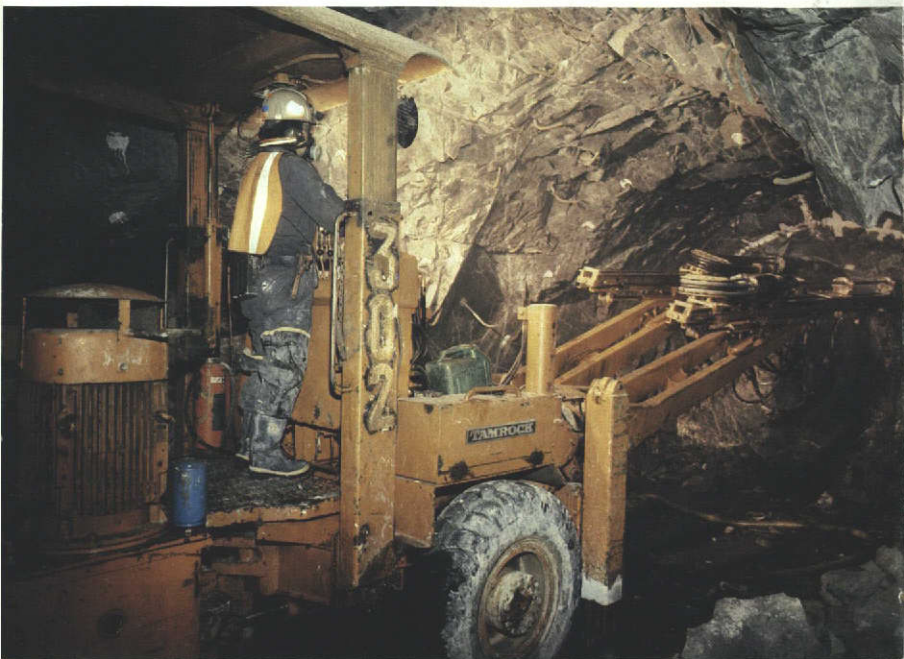
Engranajes, ruedas para rieles.



VENTAS · SERVICIO · REPUESTOS
LANZ Y CIA. LTDA.

Calle Dr. Barros Borgoño 233 Santiago Fono: 740673 Télex: 240637

COMENZAMOS UNA NUEVA JORNADA DE TRABAJO.



Para nosotros y para nuestros clientes, en todo el país, comienza una

nueva etapa. Nuevas condiciones y la experiencia de situaciones difíciles enfrentadas y superadas con éxito a lo

largo de una historia de 116 años, nos permiten comenzar esta nueva jornada con optimismo. Y energía.

Una nueva jornada de trabajo. De modernos servicios orientados a las personas. A las empresas. A usted.



BANCO CONCEPCION

Buenos días futuro.

