Ing. Jaime Rauld Faine
Profesor Jornada Completa
Departamento de Metalurgia UTE.

UNA REVISION DE LOS NUEVOS PROCESOS UNITARIOS EN LA METALURGIA EXTRACTIVA DEL COBRE

El principal objetivo de esta sección de la revista CONTACTO es la divulgación, en una forma simple de los progresos logrados en todo el mundo, en los distintos campos de la Metalurgia. Así un mayor número de lectores pueden tener más al alcance la información que, aún con cierto atraso dispone la Universidad. En esta ocasión, intentaremos hacer una rápida revisión de los procesos extractivos más nuevos en la metalurgia del cobre, haciendo hincapié en las condiciones en que estos pueden ser aplicados y abarcando tantos procesos como sea posible, aunque su discusión deba ser, necesariamente superficial. Para aquellos lectores que deseen profundizar en algunos tópicos aquí expuestos, se incluye una pequeña bibliografía.

Para abordar el presente tema podemos decir que la metalurgia extractiva del cobre, así como la de otros metales no ferrosos, se encuentra en crisis en los países desarrollados. Afortunadamente, por

ahora, esta crisis no ha tenido un impacto tan grande en nuestro país debido a sus características peculiares y también a su condición de país subdesarrollado. Sin embargo, para nadie es un misterio que el futuro nos depara, en este sentido, los mismos problemas que actualmente tiene el mundo desarrollado y para lo cual debemos estar preparados.

Esta crisis tiene varios aspectos; en primer lugar está la crisis energética ocasionada por las alzas y el acceso al petróleo. En segundo lugar y tanto o más importante que el primero, es el problema de la contaminación ambiental, producida especialmente por el dióxido de azufre. Esto es debido a que las principales fuentes minerales para los metales no-ferrosos son los sulfuros. También está el problema económico que significa la alta inversión de las plantas pirometalúrgicas tradicionales para una producción dada; así como el excesivo costo de producción ocasionado por los altos precios de los insumos, el escaso control de los procesos y el uso de minerales con leyes cada vez más bajas y que antes eran descartados.

El mayor interés actual del metalurgista extractivo del cobre en el desarrollo de una planta productiva, es la selección de un "proceso integrado" adecuado a las condiciones particulares en que se desenvolverá esta labor y que no tenga, o los tenga en un grado menor, los problemas planteados arriba. Para lograr esto, el ingeniero metalúrgico cuenta con una serie de "procesos unitarios" que ya se han desarrollado, a escala industrial o piloto, o que están en vías de desarrollo. Estos procesos unitarios tienen la función de transformar, a través de reacciones químicas y/o cambios de fase, los compuestos que contienen el metal valioso dejándolo más concentrado debido a la eliminación de las impurezas. En ciertos casos este sencillo concepto se ve un tanto complicado por la posibilidad de extraer más de un metal valioso a la vez. La concatenación adecuada de estos procesos unitarios, en serie y en paralelo o en forma simultánea, conduce finalmente al proceso integrado que tiene como objetivo, la obtención de un metal útil para el hombre.

Según el carácter de estos procesos unitarios se pueden, en la práctica, dividir en tres grupos: si el proceso se realiza a temperaturas altas, usualmente entre 400 y 1.700ºC, se le denomina "pirometalúrgico" si el proceso involucra soluciones acuosas y temperaturas cercanas a la ambiente, se llama "hidrometalúrgico" y si en él hay involucrada una corriente eléctrica, el proceso es "electrometalúrgico" En lo que sigue se revisarán los principales procesos unitarios en la metalurgia del cobre en cada uno de los casos.

A. PROCESOS HIDROMETALURGICOS

Los procesos hidrometalúrgicos en la industria del cobre presentan una serie de ventajas con respecto a los pirometalúrgicos, aunque estos últimos todavía son muy competitivos. Las ventajas de la hidrometalurgia pueden resumirse en los siguientes puntos: (a) el azufre proveniente de los sulfuros se obtiene en una solución condensada y no diluida en un gas contaminante, (b) por ser a bajas temperaturas se requiere menor uso de energía térmica, (c) se pueden usar los más modernos métodos de control de procesos, lo que redunda en una operación más eficiente, (d) se pueden tratar minerales de muy baja ley y (e) se requiere menores costos de inversión en equipos. Una excelente revisión sobre la hidrometalurgia de concentrados de cobre fue realizada por Ugarte [1] Los siguientes procesos han sido descritos hasta ahora en la literatura.[2,3,4]

Lixiviación Bacteriana:

El tratamiento de minerales de baja ley, relaves y ripios, que hasta ahora eran productos de descarte, por medio de una lixiviación in situ, actualmente es un método totalmente adquirido para la recuperación de cobre. Los minerales sulfurados son oxidados por una solución de sulfato férrico, con disolución de cobre y una reoxidación del fierro ferroso producido, lo cual ocurre rápidamente debido a la presencia de ciertos tipos de bacterias en el agua [5] El líquido conteniendo ácido sulfúrico y las sustancias nutrientes necesarias para el desarrollo y reproducción de los microorganismos, es introducido en el cuerpo mineral a través de perforaciones desde donde percola lentamente hasta que es recogido en los túneles. Cuando el líquido no fluye con facilidad en los huecos, el mineral puede ser removido usando explosivos.

La importancia de la lixiviación in situ tiene dos aspectos. En primer lugar, puede incrementar mucho la cantidad de metal que se puede obtener de un mineral dado. En segundo lugar, en este tipo de lixiviación no es necesario mover grandes cantidades de material estéril y por lo tanto, los costos de producción se reducen a los reactivos, el bombeo de soluciones y la precipitación posterior. El cobre puede ser recuperado desde el líquido por cementación, ya que se producen soluciones muy diluidas. En Chile este proceso ha sido evaluado para ser utilizado en la mina vieja de Potrerillos[6] y en Andacollo, donde se dan condiciones naturales para aplicar esta técnica[7]

La excesiva dilución de las soluciones se pueden

evitar con el uso de la lixiviación por capa fina.

Lixiviación Amoniacal:

Como se sabe, los compuestos sulfurados de cobre, especialmente la calcopirita son de baja solubilidad en las soluciones normales de lixiviación, por lo tanto, no se puede adoptar para ellos un tratamiento hidrometalúrgico clásico. De allí entonces la importancia de desarrollar nuevos métodos de lixiviación utilizando reactivos no tradicionales. Uno de los procesos más conocidos para este efecto es la lixiviación amoniacal.

La lixiviación amoniacal consiste en disolver los sulfuros metálicos en soluciones amoniacales, bajo condiciones adecuadas de temperatura, presión de oxígeno y concentración de hidróxido de amonio. El proceso se ha utilizado comercialmente por algún tiempo por la Sherritt Gordon Mines Ltda. La mayor ventaja de esta técnica es su selectividad, en particular, la eliminación del fierro. La principal desventaja estriba en el hecho de que todo el azufre del mineral es convertido a sulfato de amonio que debe ser desechado, encareciendo el proceso.

Ultimamente se ha informado de un proceso[8] donde el mineral se lixivia en una autoclave en presencia de CaO en cuyo caso el azufre queda formando $CaSO_4$ y el hidróxido de amonio es recuperado como tal.

Lixiviación con Cloruro Férrico:

Se conoce muy poco acerca del desarrollo del proceso de lixiviación con cloruro férrico y hasta ahora no ha sido implementado a escala industrial. La mayor parte de la información al respecto se encuentra en la forma de patentes. Se sabe que la extracción es muy alta (99.95%) y que la pirita y la molibdenita son inatacadas. El cobre puede obtenerse en la forma de cristales de CuCl purificados, los cuales pueden ser reducidos posteriormente. La factibilidad económica de este proceso podría llegar a ser posible dependiendo de las etapas subsiguientes así como de la recuperación del fierro en una cantidad aceptable[4]

Lixiviación Sulfúrica a Presión:

Se sabe de un trabajo reportado en este sentido[9], estos autores utilizaron un sistema a presión en condiciones oxidantes y con una solución de ácido sulfúrico diluido. El cobre fue obtenido en solución, mientras que el fierro pasó a formar un hidróxido y el azufre quedó en la forma elemental. Que se sepa, este proceso no ha pasado más allá de la escala de laboratorio. El inconveniente más grande notado, es la lentitud de las reacciones, lo que obliga a mantener por largos períodos la lixiviación a presión. Esto obliga a usar presiones más altas de oxígeno y en una proporción mayor que la del aire.

Lixiviación con Cianuro:

El cianuro tiene desde el punto de vista de la hidrometalurgia del cobre dos aplicaciones potenciales. En el primer caso, el cianuro en la forma de ácido cianhídrico puede ser usado, en conjunto con anhídrido sulfuroso para precipitar cobre desde soluciones diluidas de sulfato de cobre. El cobre queda en la forma de cianuro de cobre, que puede ser reducido con hidrógeno regenerando completamente el ácido cianhídrico (Proceso Treadwell).

En segundo lugar, la mayor parte de los minerales de cobre son solubles en cianuro de sodio, por lo cual este puede ser empleado como lixiviante[10] Sin embargo, y tal como se reporta en la ref. 10, el rendimiento de la lixiviación de la calcopirita y la bornita es muy pobre, en el primer caso por la baja solubilidad y en el último por problemas de orden cinético.

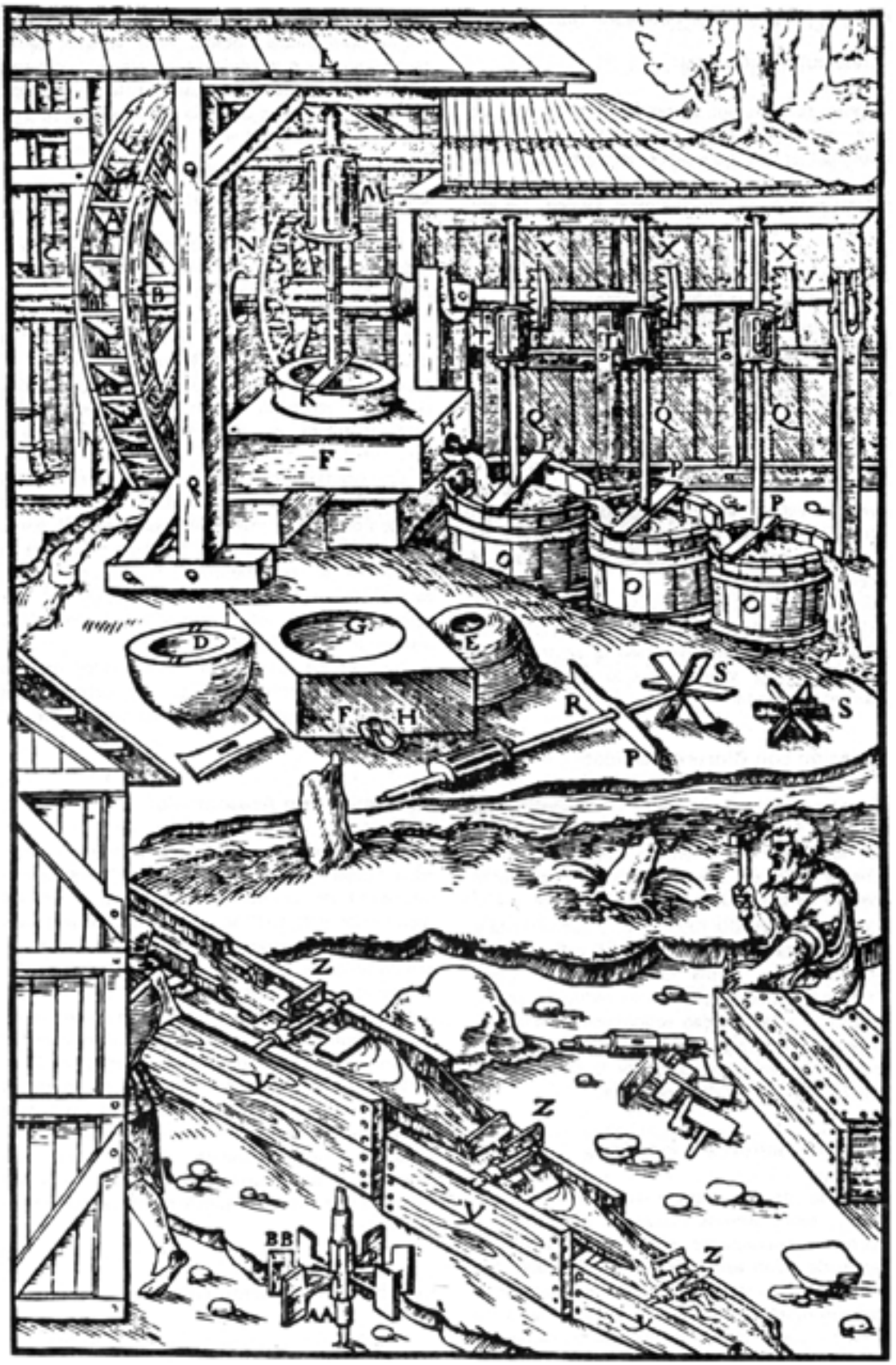
Ninguno de los procesos mencionados ha sido adoptado comercialmente, tal vez debido a los problemas de seguridad industrial que presenta el cianuro.

Lixiviación con Acetonitrilo:

Minerales sulfurados de cobre conteniendo calcocita, digenita o bornita pueden ser tratados con soluciones de sulfato de cobre en presencia de acetonitrilo (CH_3CN), lo cual produce una disolución del cobre contenido en los minerales. Esto es, debido a que el acetonitrilo forma fuertes complejos con el ión Cu^{+}, de tal manera que los iones Cu^{++} se convierten en agentes oxidantes en presencia de este compuesto. Una vez obtenida la disolución el acetonitrilo puede ser destilado y la reacción $2Cu^{+} = Cu + Cu^{++}$ produce un precipitado de cobre en polvo muy fino y puro[11] Una variedad de este proceso es la lixiviación de un mineral oxidado con dióxido de azufre disuelto en agua junto con acetonitrilo para formar el complejo cuproso. También una tostación previa puede ser considerada.

Lixiviación con Acido Nítrico:

El ácido nítrico diluido oxida los sulfuros de


F
G
D
E
F
H
R
P
S
S
Z
Z
Z
BB

cobre contenidos en el mineral para dar nitrato de cobre y azufre elemental y si la reacción se lleva hasta que la concentración de ácido remanente es muy baja, el fierro aparece como hidróxido férrico[12] Sin embargo, el cobre no puede ser recuperado desde las soluciones nítricas por electrólisis y por esto el proceso no ha sido usado en la producción de cobre.

Extracción por Solventes:

Uno de los desarrollos más importantes en la hidrometalurgia del cobre ha sido la introducción de los compuestos extractantes, de los cuales la serie de los lix es el mejor ejemplo. Estos reactantes tienen la capacidad de extraer selectivamente el cobre de soluciones ácidas con pH alrededor de 2. En todo caso, si la extracción por solventes es usada para extraer un metal es necesario tener el metal en solución, esto es, algún tipo de lixiviación debe ser usado previamente.

El paso controlante de estos procesos es el tiempo necesario para lograr la separación de las dos fases. Así el tiempo de residencia en el mezclador es generalmente de dos minutos, mientras que en el decantador es mucho mayor. Ultimamente se están desarrollando métodos para lograr la coalescencia de la fase dispersa, tal como el sistema DC Knitmesh[13] Aparte de esto, el desarrollo de la extracción por solventes se dirige hacia la síntesis de extractantes que mejoren la selectividad y el rango de operación del proceso.

B. PROCESOS ELECTROMETALURGICOS

La mayor parte de los procesos sustitutivos de la fusión de concentrados de cobre involucran una recuperación electrolítica como el paso lógico posterior a las etapas hidrometalúrgicas. Un ejemplo de esto es el proceso integrado "CYMET", en este los concentrados calcopiríticos son lixiviados con cloruro férrico; posteriormente, la solución overflow es electrolizada en el compartimiento del cátodo de una celda de diagrama para producir polvo de cobre, el cual es briqueteado y electrorrefinado. El compartimiento del ánodo que contiene underflow, produce azufre elemental.

Electro obtención de Cobre de Soluciones de Extracción por Solventes.

Los electrólitos usados en la electro obtención tradicional de cobre contienen menos de 50 g/lt de ácido sulfúrico "libre" y son fuertemente contaminados con fierro. El proceso de extracción por solventes produce un electrólito que contiene 150 g/l de ácido sulfúrico "libre" y menos de 3 g/l de fierro. Esta solución puede ser más fácilmente electrolizada, pero algunos problemas se presentan[14] En primer lugar, la fase orgánica atrapada puede formar depósitos desmenuzables con cobre en el cátodo (quemado orgánico). En segundo lugar, una mayor concentración de ácido produce una mayor emanación de ácido y, finalmente, esta concentración de ácido tiende a atacar los ánodos de plomo produciendo un cobre catódico contaminado en este elemento. Las soluciones para disminuir la evaporación de ácido tales como el uso de materiales orgánicos o el uso de esferas plásticas han aumentado el quemado orgánico. Una probable solución al quemado orgánico es el que el electrólito se mantenga en continuo movimiento. El ataque de los ánodos puede ser prevenido por el uso de bolsas plásticas porosas alrededor del ánodo, lo que también disminuye la emanación de ácido[15] Otra posible solución es usar ánodos de plomo recubiertos con un conductor inerte tal como MnO_2, o ánodos de Pb-1%Ag, Pb-Bi o también no usar ánodos de Pb, sino uno de MnO_2 impregnado en titanio.

Electrólisis de Sales Fundidas

El cobre puede ser electro obtenido a partir de la electrólisis de Cu_2S o matas de Cu_2S-FeS disuelto en un baño de CuCl a 450°-500°C[16] Además, las matas Cu_2S-FeS pueden ser disueltas con CuCl fundido y la solución en CuCl resultante, rica en fierro, es tratada por extracción por solventes y electrolizada para dar cobre.

Alta densidad de Corriente

Desde hace mucho tiempo que se vienen buscando métodos para aumentar la densidad de corriente en las celdas de refino de cobre o de electro obtención. El método más conocido siendo el PRC (corriente periódicamente reversa). Un nuevo intento para alcanzar una alta densidad de corriente es el uso de electrodos de lecho fluidizado[17] En efecto, lo que se busca en este caso es reducir el espesor de la capa límite difusora en la superficie del electrodo. Otros métodos más convencionales son, la agitación por aire y la circulación violenta del electrólito. Por la técnica PRC se han logrado densidades de corriente de 300-340 A/m^2 Otro método que se ha intentado

en estos casos es el uso de agitación ultrasónica[18] sin embargo, el costo de producir ultrasonido es todavía demasiado elevado para los resultados que se pueden lograr.

Fabricación de Hojas Madres

La fabricación de hojas madres ha sido simplificada por el uso de hojas de partida de titanio con los bordes protegidos por un polímero aislante. Las hojas de titanio son reutilizables, lo cual permite su uso industrial, a pesar del alto costo de inversión. Una mejora del método tradicional se ha sugerido a través del uso de un recubrimiento de las hojas de cobre formado de 5º/o de alcohol hexadecyl emulsificado con 1º/o de benzenosulfonato de sodio en agua caliente, al cual se le añade 0,1º/o ácido mercaptopropiónico. Este actúa como una capa de partida entre el cátodo de cobre y la hoja madre[19]

C. PROCESOS PIROMETALURGICOS

El desarrollo de procesos hidrometalúrgicos competitivos para el tratamiento de concentrados de sulfuros de cobre ha sido una labor muy ardua debido a que los procesos pirometalúrgicos presentan ventajas inherentes que los hacen ser económicamente óptimos. Estos son a grandes rasgos:

1. Ventajas Térmicas: Las oxidaciones del azufre y el fierro pueden ser llevadas casi en forma autotérmicas bajo condiciones adecuadas de diseño.
2. Velocidades de reacción muy rápidas.
3. No utilizan reactantes caros.
4. Alta recuperación metálica.
5. Recuperación de metales preciosos. Debido a la característica de solvente que tiene la mata.
6. Tratamiento de concentrados de diversos orígenes y estructuras.

El tratamiento pirometalúrgico tradicional consistente de tostación-fusión-conversión para la producción de cobre ha sido objeto de grandes modificaciones, debido a la presión contra la contaminación ambiental y a la necesidad de disminuir los costos frente a un mercado depresivo. Los esfuerzos realizados para solucionar los problemas de la pirometalurgia se han dirigido básicamente hacia tres metas: desarrollo de proce-

REFRACTARIOS CHILENOS S.A.

RECSA

FABRICANTES DE LA LINEA MAS COMPLETA DE REFRACTARIOS DEL PAIS.
LADRILLOS Y ESPECIALIDADES
BASICOS • ALTA ALUMINA • SILICO ALUMINOSOS
CARBURO DE SILICIO • AISLANTES
FIBRAS CERAMICAS.

Y AHORA TAMBIEN LE SERVIMOS EN INGENIERIA CONSTRUCCION Y MANTENCION REFRACTARIA.

PANAMERICANA NORTE 3076
CASILLA 1335 SANTIAGO
FONO 771305 STGO.

ASOCIADA A:
HARBISON WALKER REFRACTORIES
DIVISION DE DRESSER INDUSTRIES INC.

H
I
C
A
B
B
B
B
D
D
M
L
L
K
E
E
E
E
E
E

sos continuos, fusión flash y mejoras al tratamiento tradicional fusión-conversión.

Procesos Continuos

El principal problema de realizar la operación en forma continua, estriba en el hecho que las pérdidas de cobre en la escoria se hacen prohibitivamente altas y un método para su recuperación debe ser desarrollado.

El proceso NORANDA [20/21] que se puso en operación comercial en 1973, funde concentrados en un reactor muy similar al convertidor Pierce-Smith, pero más largo. Mata, metal blanco o cobre pueden ser producidos por soplado de aire común o enriquecido con oxígeno por medio de toberas colocadas a lo largo del reactor. La escoria contiene del orden de 10-12º/o Cu, la cual es tratada por molienda y flotación hasta llegar a un contenido de 0,5º/o.

En los procesos WORCRA [22/23], y Q-S [24] (Queneau-Schuhmann) el concentrado es introducido al reactor más o menos en la mitad del reactor, produciendo una mata y una escoria que viajan en direcciones opuestas y la mata es soplada a blister, ya sea con lanzas en el tope (WORCRA) o por soplado con oxígeno por el fondo (Q-S). El SO_2 puede ser recirculado una vez enfriado para refrigerar las toberas. En estos dos procesos, la escoria es tratada en una zona reductora para bajar el contenido de cobre a un nivel aceptable: 0,5º/o en el WORCRA y 0,2º/o en el Q-S. La planta piloto usada para desarrollar el proceso WORCRA dejó de funcionar en 1970.

El proceso MITSUBISHI [25] usa reactores separados para la fusión del concentrado a mata y la conversión de la mata en cobre blister, la escoria y la mata fluyen en contracorriente. Todavía otro horno es usado para reducir el contenido de cobre de la escoria. Este proceso tiene su mayor ventaja en la alta automatización alcanzada.

Con relación al énfasis que se pone en los procesos continuos desarrollados en la pirometalurgia del cobre, siempre ha resultado difícil de entender que en una rama mucho más estudiada y comprendida como es la fabricación del acero, haya sido descartada la alternativa continua, frente a los convertidores al oxígeno que operan en forma Batch. Un par de razones, probablemente explican, en parte, que en la fusión de cobre algún tipo de beneficio puede resultar de los procesos continuos; una de ellas es que la producción continua de un gas rico en SO_2 es fundamental para una planta de ácido sulfúrico y la otra es que un convertidor al oxígeno para cobre es mucho más caro y más complicado que el LD y por lo tanto menos atractivo. En este sentido vale la pena señalar que INCO ha desarrollado, para la conversión de matas de cobre-níquel un reactor rotatorio soplado por el tope similar al proceso KALDO de los aceros (TBRC)[26/27]

Fusión Flash

Los procesos de fusión flash, que utilizan el azufre de los concentrados como combustible para reemplazar todo o parte del combustible necesario para la fusión del concentrado, se pueden dividir en dos grupos, aquellos que usan oxígeno puro y aquellos que usan aire precalentado o aire enriquecido, siendo los ejemplos más típicos de tales procesos, el INCO[28] y el OUTOKUMPU[29/30]

Estos procesos son quizás en este momento los más atractivos para ser instalados en plantas nuevas, donde una conversión tradicional va a ser usada después. Las ventajas más notables de estos procesos son: el ahorro de energía y el aumento considerable de la velocidad de fusión. Por ejemplo[31], una planta tradicional que trabaja con concentrados de alta ley y que tiene una producción de 0,56 toneladas de concentrado por día y por m^3 de reactor tiene un consumo energético de 6,2GJ/ton y produce un gas que contiene 1 a 5º/o de SO_2. Una fusión flash, cualquiera de los dos tipos, puede tener una capacidad de 1,4 a 1,7 ton por día y por m^3 de reactor y un consumo energético de 1,6GJ/ton de concentrado. En el caso de INCO, el gas de salida puede contenerse hasta un 80º/o SO_2. Las ventajas son evidentes.

Mejoras al Proceso Tradicional

Sin duda alguna, la principal mejora al proceso pirometalúrgico tradicional ha sido la utilización masiva de oxígeno en todas las etapas de producción. El reverbero, que tiene una pequeña productividad y un gas de salida pobre en SO_2, así como un gran consumo energético, ha sido el más favorecido por el uso de oxígeno o aire enriquecido con oxígeno.

En general, las mejoras más sustanciales al proceso tradicional han sido: uso de quemadores oxígeno-petróleo en el reverbero, enriquecimiento con oxígeno del aire de los convertidores y uso del sistema Hoboken en los convertidores.

Finalmente, cabe hacer notar que debido a los

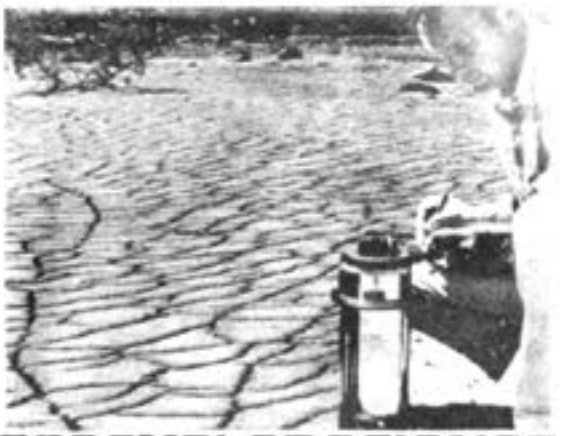
problemas engendrados por el petróleo, actualmente resulta muy atractivo el uso de carbón pulverizado, a pesar de los problemas que ello acarrea y está siendo usado en varias fundiciones en el mundo. Por la misma razón, desde hace un tiempo, en algunos países donde se dan las condiciones para ello, se está empleando la fusión de concentrados en hornos eléctricos.

Por último, es importante señalar que un gran número de procesos pirometalúrgicos gas-sólido se están desarrollando actualmente en el mundo, que unidos a las adecuadas etapas hidrometalúrgicas, podrán llegar a ser en el futuro competitivos con la pirometalurgia tradicional debido en gran parte a su versatilidad.

REFERENCIAS

1. G. Ugarte, Minerales, 1973, 21, 28.
2. K.N. Subramanian y P. Sennings, Can. Met. Quart. 11,2 (1972).
3. A.R. Burkin; Int. Met. Rev., Sept. 1976, 118.
4. E. Peters, Met. Trans. B, 78, Dic. 1976, 505.
5. J. Torreblanca, CONTACTO Nº 3, Julio 1977.
6. F. González; en Investigaciones Mineras y Metalúrgicas 1976, CIMM, marzo 1977, pág. 133.
7. F. González, Y. Titado, C. González en Investigaciones Mineras y Metalúrgicas 1976, CIMM, marzo 1977 pág. 133.
8. A. Fonseca, CIMM Bulletin, julio 1974, 105.
9. A. Vizsolyi, H. Veltman, I. Warren y V. Mackiw, J. Metals, 19, 1967 52, 59.
10. G. Lower y R. B. Booth, Min. Eng. 17 1965, 56.
11. A.J. Parker: Search, 1973, 4, 426.
12. G. Bjorling y G.A. Kolta, "Proceding of the 7th International Mineral Processing Congress" 127 1964, New York, Gordon and Breach.
13. I.D. Jackson et al: "Symposium on Hydrometallurgy" series Nº 42 paper 15, 1975, London, Institution of Chemical Engineers.
14. W.R. Hopkins et al: "2nd. International Symposium on Hidrometallurgy, 127, 1973, New York, AIME.
15. G. Eggett y D. Naden: Chem and Ind, 1975 (9), 389.
16. A.K. Garbee y S.N. Flengas: J. Electrochem Soc., 1972, 119, 631.
17. J.A.E. Wilkinson y K.P. Haines: Trans. Inst. Min. Met., 1972, 81, C157.
18. G. Eggett et al: "Symposium on Hidrometallurgy" series Nº 42, 27, 1975, London Inst. of Chem. Eng.
19. E.M. Elkin: German Patent Nº 1533443, 1972.
20. G.C. Mc Kerrow et al: "El futuro de la pirometalurgia del cobre" (ed. Carlos Díaz), 121, 1974. Instituto de Ingenieros de Minas.
21. N.J. Themelis y G.C. Mc Kerrow: "Advances in Extractive Metallurgy and Refinery" (ed. M.J. Jones) 3, 1974, London Inst. of Mining and Metallurgy.
22. H.K. Worner y B.S. Andrews: "El futuro de la Pirometalurgia del Cobre" 133.
23. H.K. Worner at al: "Advances in Extractive Metallurgy and Refining" 39, 1974, London, Inst. of Min and Met.
24. P.E. Queneau y R. Schunmann; J. Metals, 1974, 26 (8), 14.
25. T. Suzuki: "El futuro de la Pirometalurgia del Cobre" 107 op. cit.
26. P. Queneau et al: J. Metals, 1969, 21 (7), 35.
27. Can Mach. Metalwork, 1973, 84 (11), 40.
28. Merla et al: 101 st AIME Anual Meeting, Feb. 1972.
29. Laurila: "El futuro de la Pirometalurgia del Cobre" 47, op. cit.
30. Y. Kubota y M. Yasuda: "Pyrometallurgical Processes in Metallurgy" (Ed. J.N. Anderson), 155, 1967 New York, Gordon and Breach.
31. H.H. Kellogg: "El futuro de la Pirometalurgia del Cobre" 17 op. cit.

GEOEXPLORACIONES LTDA.
Galvarino Gallardo 1841 Fono 256099
Telex SGO 260 - Santiago-Chile



GEOEXPLORACIONES

GEOFISICA APLICADA A PROSPECCIONES MINERAS
COBRE DISEMINADO, COBRE EN LETAS, HIERRO, ORO, RADIOACTIVOS, NO METALICOS
GEOFISICA APLICADA A PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS
PROFUNDIDAD DE LA CUENCA, PROFUNDIDAD DE LA NAPA, CALIDAD DEL AGUA
GEOFISICA APLICADA A OBRAS DE INGENIERIA CIVIL Y MINERIA
TUNELES, TRANQUES, CONSTRUCCIONES
SISMICA • RESISTIVIDAD • POLARIZACION INDUCIDA • POLARIZACION ESPONTANEA
MAGNETOMETRIA • GRAVIMETRIA • ELECTROMAGNETISMO • RADIOMETRIA.
REPRESENTACIONES • SERVICIOS • REPARACION DE INSTRUMENTOS
ASESORIAS • TOPOGRAFIA • TRANSPORTE • ANTEPROYECTOS • ENTRENAMIENTOS.