



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org



16525-S

Distr. LIMITADA

ID/WG.470/8
6 agosto 1987

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

ESPAÑOL
Original: INGLES

Primera Consulta sobre la Industria
de los Metales no Ferrosos
Budapest (Hungría)
30 de noviembre a 4 de diciembre de 1987

Documento de debate II

ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS EN LA INDUSTRIA
DE LOS METALES NO FERROSOS*

Preparado por la
Secretaría de la ONUDI

* El presente documento es traducción de un texto que no ha pasado por los servicios de edición.

INDICE

	<u>Página</u>
1. Introducción	3
2. Nuevas tecnologías ya en uso o cuya utilización es cada vez más frecuente en las industrias de los metales no ferrosos	4
2.1 Producción de metales no ferrosos hasta la etapa de refinera	4
2.2 Fabricación de productos semiacabados y acabados de aluminio y de cobre	5
3. Orientaciones principales de las actividades de investigación y desarrollo	6
4. Consideraciones finales	8
Anexo I Características de los principales procedimientos tecnológicos empleados en las industrias de los metales no ferrosos	10-16
Anexo II Cuadros 1 a 3	17-21

1. Introducción

Es evidente que las condiciones socioeconómicas, la calidad de los minerales y la disponibilidad de insumos de producción (por ejemplo, energía, infraestructura, mano de obra especializada, capital) de los países en desarrollo son muy diferentes a las que imperan en los países desarrollados. Por lo tanto, las opciones tecnológicas que se consideran más apropiadas para los países desarrollados pueden no ser las más ventajosas para los países en desarrollo. Esto se podría aplicar especialmente al análisis de las opciones relacionadas con el tamaño de la planta.

Las ventajas aparentes de construir plantas muy grandes no se suelen dar en los países en desarrollo. Entre las dificultades concretas que surgen a menudo en los grandes proyectos figuran:

- a) por lo general, el plazo de construcción de grandes plantas es más largo, el costo más elevado y crea mayores dificultades que la construcción de plantas pequeñas en lo que respecta al suministro de servicios, y a la creación de instalaciones auxiliares e infraestructura;
- b) en las plantas grandes suelen suscitarse más problemas técnicos que en las pequeñas, el mantenimiento puede ser más complejo, y son más frecuentes las dificultades por la rigidez de ciertas tecnologías;
- c) en las plantas grandes las tasas de explotación suelen ser más bajas que en las pequeñas, por lo que aumentan los gastos fijos medios;
- d) en general, se observa una gran dependencia de las exportaciones al mercado mundial en un momento en que disminuye o crece lentamente la demanda mundial, así como un deterioro de los precios;
- e) las plantas más grandes permiten menos flexibilidad en el proceso de integración del sector de los metales no ferrosos con los demás sectores de la economía a nivel nacional y regional;
- f) las plantas grandes requieren inversiones y recursos financieros considerables, en un momento en el que muchos países en desarrollo tienen problemas por la deuda.

La rapidez con que ocurren los cambios tecnológicos en algunas industrias de transformación de minerales también repercute en la capacidad de los países en desarrollo para establecer instalaciones de elaboración. Ciertos adelantos, como la producción de placas y tiras de aluminio por solidificación continua, permiten la construcción de plantas en escala mucho más pequeña que la que antiguamente se consideraba económica, lo que abre posibilidades de transformación para el consumo interno en muchos países en desarrollo.

Por otra parte, nuevos procedimientos, como la solidificación continua del cobre, surten el efecto de que los productores situados a distancias considerables de los mercados principales tengan mayores dificultades para competir en forma eficaz.

No obstante, al seleccionar la tecnología cabe tener en cuenta otros aspectos, como la calidad del mineral, el precio de la energía, los costos de transporte y las posibilidades de aumentar el excedente de divisas para desarrollar sectores clave de la economía.

2. Nuevas tecnologías ya en uso o cuya utilización es cada vez más frecuente en las industrias de los metales no ferrosos ^{1/}

Según sus condiciones socioeconómicas, los países en desarrollo deberían aprovechar plenamente los adelantos tecnológicos a fin de lograr una mejor utilización de sus recursos y un desarrollo más integrado en los planos nacional y regional. En este contexto hay que hacer especial hincapié en el análisis de las alternativas tecno.ógicas para la fabricación de productos semiterminados y terminados.

2.1 Producción de metales no ferrosos hasta la etapa de refinería

En el proceso de producción hasta la etapa de refinería habría que tener en cuenta ciertos adelantos tecnológicos a fin de mejorar la productividad de las instalaciones existentes o de los nuevos proyectos.

Con objeto de conseguir una disminución de los costos de producción, sobre todo de los costes energéticos, se han introducido en el diagrama tradicional de la placa de sulfuro de cobre en flotación importantes innovaciones desde el decenio de 1970: aumento del tamaño del equipo de extracción y de trituración para conseguir economías de escala; introducción del procedimiento de flotación en columnas en el campo de la concentración para separar los diversos minerales, sobre todo en la industria del cobre y para recuperar el molibdeno como subproducto; e intensificación de procedimientos químicos, pirometalúrgicos, con empleo de inyecciones de oxígeno, que permiten acelerar las reacciones, aumentar la capacidad de los hornos y obtener los productos a menor coste.

Se ha ideado una tecnología especialmente apropiada para el tratamiento de mena de sulfuro y de óxido mediante procedimientos hidrometalúrgicos, lo que evita las fases tradicionales y costosas de concentración y fusión, además de todas sus repercusiones en el ambiente. Varios países están interesados en el perfeccionamiento de la tecnología del tratamiento de menas polimetálicas con contenido de cobre.

La extracción de bauxita, su refinación en alúmina y la producción del metal por electrólisis son tecnologías probadas. Aunque esos procesos mejoran constantemente, no se prevén cambios fundamentales antes de fines del presente siglo. Los nuevos adelantos tecnológicos tienden a disminuir los gastos de energía y a lograr una mejor utilización de los bienes de capital, cada vez más costosos.

En las industrias del plomo y del zinc, que transforman menas de alta ley y más complejas, aunque en menor escala que el cobre, se observan adelantos tecnológicos importantes no tanto en la fase de la concentración, en que las tecnologías clásicas y la concentración por flotación se ajustan en forma práctica y específica a cada mena y a sus problemas metalúrgicos, sino en la fase pirometalúrgica. En ésta, además de los procesos concretos para tratar cada metal por separado, existen posibilidades de hacerlo en forma conjunta en concentrados a granel lográndose un mayor grado de recuperación de metal en

^{1/} En el Anexo 1 figuran las distintas alternativas tecnológicas en relación con los metales no ferrosos.

general y disminuir los costos. La gran complejidad de estas menas y las dificultades considerables en la separación de los distintos metales por flotación diferencial suelen ocasionar elevadas pérdidas de metal. Así, crece el interés por procesos como el procedimiento "Imperial" de fusión y tostación sulfatante.

Entre las nuevas tecnologías pirometalúrgicas figuran el proceso de lixiviación Sherritt con utilización de ácido sulfúrico a presión (PSA), el nuevo proceso Kivcet, de la Unión Soviética, el proceso Outokumpu (OKP) de Finlandia, el proceso QSL de Alemania, y otros.

Debe prestarse la debida atención a todos estos procesos, pues si bien no todos los países en desarrollo están en condiciones de instalar sus propias plantas, quizá puedan convenir en establecer algunas plantas regionales capaces de tratar su producción conjunta más eficientemente.

Actualmente el estaño atraviesa una etapa difícil por el colapso del Consejo Internacional del Estaño y la fuerte baja de los precios de este metal. Una manera de resolver estos problemas es concentrarse en la utilización de métodos económicamente más eficaces. A este respecto, cabe señalar que existe un método de flotación de finos de estaño relativamente barato y eficaz. Además, el proceso fumante atrae progresiva atención por sus propiedades de eliminar las impurezas de forma más eficaz y de aumentar el grado de recuperación para fabricar productos finales.

En la esfera del níquel, los adelantos tecnológicos tienen por objeto lograr mayores economías de energía y aumentar la tasa de recuperación del metal. Al respecto, los países en desarrollo deberían prestar atención especial a los nuevos adelantos logrados en los procesos hidrometalúrgicos, y particularmente al tratamiento de minerales lateríticos del tipo de la limonita con ácido sulfúrico.

2.2 Fabricación de productos semiacabados y acabados de aluminio y de cobre

La fabricación de productos semiacabados y acabados parece un aspecto clave para los países en desarrollo, por su flexibilidad en cuanto al tamaño de las instalaciones, así como a las posibilidades considerables de aumentar la integración horizontal en los planos nacional y regional.

El tamaño de las cadenas de semiproducción es una cuestión compleja. El transporte de ciertos productos semiacabados sólo resulta económico dentro de un radio muy limitado. Afortunadamente, muchos productos semiacabados se pueden fabricar en plantas relativamente pequeñas. En el caso del aluminio, esto se aplica especialmente a los productos moldeados por extrusión. En cambio, los productos de aluminio laminados pueden soportar largos desplazamientos, aunque su producción requiere instalaciones mucho más grandes y costosas. La capacidad de los trenes de laminado económicos -incluidos los de laminado en caliente- es por lo menos de 40.000 toneladas anuales. Los trenes de laminado en frío pueden ser más pequeños que los de laminado en caliente. Las unidades de fundición y laminación pueden ser más pequeñas: incluso las unidades de 10.000 toneladas anuales pueden ser viables. Sin embargo, como esas cadenas de producción tienen que funcionar junto con una planta de fundición, la gama de productos semiacabados fabricados con este tipo de equipo es más limitada que si se utilizan trenes de laminado corrientes, y se excluye la posibilidad de fabricar ciertos productos de alta

aleación de aluminio. Lo ideal es contar en el mismo lugar con trenes de laminado en frío y en caliente; de lo contrario habría que transportar un producto intermedio al tren de laminado en frío, aunque también es corriente instalar espirales de transformación en los trenes en frío.

En muchos países en desarrollo existen grandes posibilidades de fabricar productos acabados de metales no ferrosos. Pueden citarse por ejemplo la fabricación de alambres y cables, utensilios de cocina y de otra índole, envases y algunos productos no ferrosos para la industria de la construcción.

Al seleccionar los principales sistemas tecnológicos para la fabricación de productos semiacabados de cobre cabe recordar lo siguiente:

- a) los procesos de solidificación continua por su escaso consumo de energía y de inversión de capital, menor grado de contaminación ambiental, capacidad de producción flexible, alta productividad y elevada calidad de los productos;
- b) la tecnología de barras para trefilar se debería ajustar a la demanda local o regional;
- c) los trenes de laminado en frío dotados de atornillamiento hidráulico y regulación automática del grosor. Sólo se deberían seleccionar trenes en caliente en casos especiales o de mucha demanda;
- d) las prensas indirectas ofrecen algunas ventajas, pero actualmente las prensas directas horizontales son más flexibles en cuanto a la combinación de productos. Si se dispone de una prensa de extrusión adecuada, se puede compensar transitoriamente la demanda inferior de barras para trefilar ajustando el tamaño de los rollos;
- e) la senda tecnológica para fabricar tubos de cobre se debería seleccionar atendiendo a varios factores. En plantas con capacidad disponible en el laminado en frío, una buena solución podría ser soldar tubos de flejes y trefilarlos en bloques acabados. En plantas con capacidad disponible en su prensa de extrusión, la reducción en bancos de trefilado puede ser la solución óptima, pues ofrece una combinación de productos muy variados. Uno de los métodos más eficientes para producir tubos medianos y pequeños es la solidificación continua, el laminado Pilger, con trefilado en bloque giratorio;
- f) al construir fábricas de productos semiacabados de cobre y de aleaciones de cobre o de aluminio y de aleaciones de aluminio, hay que atender especialmente al reciclaje de la producción y al acopio de chatarra. Mientras mejor se separe la chatarra, mayor será su valor. Pueden conseguirse grandes economías utilizando cada tipo de chatarra para su finalidad adecuada.

3. Orientaciones principales de las actividades de investigación y desarrollo

En el contexto de las esferas más prometedoras para el adelanto tecnológico de los países en desarrollo, las investigaciones parecen centrarse principalmente en los siguientes aspectos:

- a) mejor utilización de los recursos polimetálicos siempre que sea apropiado, con la extracción posible de todos los componentes aprovechables;
- b) ahorro de energía y tratamiento de los materiales en las operaciones de extracción;
- c) ahorro de energía y procedimientos de transformación más eficientes en las operaciones de trituración, incluidas la trituración semiautógena y la clasificación ciclónica;
- d) perfeccionamiento sustantivo de la tecnología de flotación utilizando células de flotación de mayor volumen e introduciendo nuevos tipos de células de flotación, como células en columna, así como fórmulas mejoradas de reactivos;
- e) mayor utilización de la hidrometalurgia y de otras tecnologías que ahorran energía y capital, como la lixiviación bacteriana, las tecnologías de extracción con disolvente y la electroextracción;
- f) introducción de procesos para convertir el contenido metálico de los minerales, tanto los de carácter sulfúrico como los no sulfúricos, al estado metálico con el mínimo consumo de energía; por ejemplo, los procesos de extracción con disolventes, electroextracción y por segregación;
- g) mayor eficiencia al utilizar la tecnología Bayer para producir alúmina, mediante un mejor ajuste, cuando proceda, de la digestión y la precipitación, y la intensificación del lavado de lodo de óxido de hierro a fin de reducir el consumo cáustico y obtener residuos menos nocivos para el ambiente;
- h) mayor insistencia en recuperar subproductos en todas las fases de la producción de metales básicos, incluida la separación por flotación, así como la separación por procedimientos hidrometalúrgicos, pirometalúrgicos y electrometalúrgicos. Algunos metales importantes como oro, plata, molibdeno, cobalto, bismuto, selenio y renio, galio y vanadio pueden servir de base para obtener subproductos valiosos que reduzcan los costos de producción de metales básicos. Además, se pueden recuperar lucrativamente componentes no metálicos, tales como el azufre y el arsénico;
- i) organización de los procesos de transformación y mayor valoración de los productos intermedios. Si procede, fabricar los siguientes productos, entre otros: bauxita blanca artificial; alúminas especiales; productos abrasivos y refractarios a base de alúmina; distintos compuestos metálicos de sulfatos, óxidos, etc.; aluminio 99,99. Organización del acopio, la transformación y la utilización de metales reciclados;
- j) introducción de tecnologías modernas a base de oxígeno para fundir metales básicos en todas sus formas posibles, con miras a lograr resultados óptimos, tanto desde el punto de vista económico como de la capacidad;

- k) reducción sistemática de los costos en las plantas de fundición de aluminio existentes, mediante un mejor control de la composición electrolítica, la temperatura, y las operaciones celulares;
- l) posibilidades de fabricar una gama más amplia de productos semiacabados de aleaciones de aluminio y de cobre por solidificación continua;
- m) reconstrucción de los trenes de laminado existentes y equipamiento de éstos con sistemas de atornillamiento hidráulico, circuitos de regulación mediante impulsión eléctrica y mecanismos automáticos de regulación del grosor y de la forma;
- n) realización de estudios sobre la escala óptima de operaciones para determinados procesos o tecnologías, obtenible mediante economías de escala o la miniaturización de las plantas según las necesidades y posibilidades nacionales. Diseño de equipo apropiado, especialmente para la fabricación de productos semiacabados;
- o) estudio sistemático de las posibles ventajas de ampliar las instalaciones existentes utilizando tecnologías mejoradas e intensificadas, en vez de construir nuevas plantas.

La aplicación práctica de nuevas tecnologías en el sector de los metales básicos no ferrosos en los países en desarrollo requerirá una combinación bastante compleja e imaginativa de la labor de las instituciones de investigación existentes, las universidades y los centros nacionales de investigación, así como la de organizaciones dedicadas a investigaciones industriales y de empresas de ingeniería.

En los países en desarrollo trabajan varias instituciones de investigación y desarrollo de alto nivel para las industrias de los metales no ferrosos ^{2/}. Sus aportaciones serán importantes para introducir nuevas tecnologías en las prácticas industriales, sobre todo al evaluar la viabilidad de nuevos procesos y tecnologías.

4. Consideraciones finales

Las estrategias de desarrollo y las limitaciones financieras delimitan, en cierto sentido, las tendencias en la elección de las tecnologías.

En el marco de lo expuesto anteriormente y en el presente documento, sería de especial interés para los participantes en esta reunión examinar, entre otros, los siguientes aspectos:

- a) adelantos tecnológicos para incrementar la productividad de las instalaciones existentes para la fabricación de productos metálicos no ferrosos. En este contexto, debería prestarse especial atención al análisis de las posibilidades de ahorro energético, mayor aplicación de la hidrometalurgia y tratamiento de menas polimetálicas;

^{2/} Véase el Anexo 2, en el que se indican las actividades de investigación y desarrollo en la esfera de los metales no ferrosos realizadas en América Latina, África y Asia.

- b) alternativas tecnológicas para la fabricación de productos semiacabados y acabados en plantas de tamaño pequeño y mediano, que requieren inversiones razonables;
- c) orientaciones principales de las actividades de investigación y desarrollo que deben llevar a cabo los fabricantes de productos metálicos no ferrosos de los países en desarrollo para lograr el dominio de las tecnologías de los metales no ferrosos;
- d) posibles programas de cooperación entre países desarrollados y en desarrollo y entre países en desarrollo que puedan contribuir al aumento de la productividad de las instalaciones existentes en los países en desarrollo, a la creación de capacidad nueva para la fabricación de productos semiacabados y acabados y al dominio por los países en desarrollo de las tecnologías de los metales no ferrosos.

Anexo 1

CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES PROCEDIMIENTOS TECNOLOGICOS
EMPLEADOS EN LAS INDUSTRIAS DE LOS METALES NO FERROSOS

1. Aluminio

La extracción de la bauxita, su refinado para transformarla en alúmina y la producción del metal por electrólisis son tecnologías tradicionales. Si bien se está produciendo una mejora constante de estos procedimientos, no se prevé ningún cambio fundamental antes de finales de siglo. Los recursos de bauxita que se conocen en la actualidad no constituirán un factor limitador del crecimiento futuro de la industria del aluminio. La aplicación de métodos actualizados de teledetección tal vez facilite el descubrimiento de nuevos depósitos de mineral, sobre todo en los países en desarrollo. No obstante, la elaboración de bauxitas con baja ley y de materiales no bauxíticos para transformarlos en aluminio puede alcanzar importancia nacional, porque es posible que algunos países deseen elaborar sus propias materias primas.

La producción y el consumo del aluminio están dominados por el aspecto energético, que determina su tendencia de desarrollo. Este factor y el mejor aprovechamiento de los bienes de capital -debido a su creciente costo- actúa de promotor del desarrollo de los procedimientos Bayer y Hall-Héroult. No existen limitaciones técnicas, aparte del factor del clima, para el empleo de estos procedimientos en cualquier lugar del mundo en su forma actual o desarrollada, siempre que las instalaciones puedan ser explotadas y mantenidas en un país determinado, porque al diseñar la fábrica se optó por una solución razonable de automatización y mecanización y se sometió al personal a una capacitación idónea.

Dado que la protección del medio ambiente adquiere cada vez más importancia, las nuevas fundiciones de aluminio pertenecen al tipo de ánodo precocido con la utilización de alúmina arenácea. He aquí el motivo de que las nuevas instalaciones se basen en la producción de este tipo de alúminas y algunas más antiguas -si no producen ya la arenácea- se transformen para producir esta variedad de alúmina. Los países en desarrollo disponen en su mayoría de bauxita trihidratada y la producción de alúmina arenácea no plantea problemas con este tipo de materias primas.

El tamaño de las unidades desempeña una función importante en la economía de producción. El tamaño de una fábrica de alúmina ha crecido de 120.000-150.000 t/a a una capacidad de la línea de producción de 300.000-500.000 t/a. De ahí que las capacidades de las plantas alcancen o rebasen a menudo un millón de t/a. En cambio, actualmente las fundiciones se construyen con unas capacidades aproximadas de 100.000 a 300.000 t/a, pero la capacidad efectiva depende de la capacidad de la línea de producción.

Al parecer, el desarrollo de la fabricación de productos semiacabados es más dinámico. Aunque los métodos básicos de producción han sido conocidos desde hace decenios, la eficiencia de estos procedimientos, así como la fabricación de productos con parámetros de calidad cada vez más altos, se han encontrado siempre a la vanguardia de los recientes adelantos. El dimensionamiento de cadenas de fabricación de productos semiacabados es una cuestión compleja. No obstante, suelen funcionar económicamente en fábricas de tamaño relativamente pequeño.

En el Cuadro 1 se presentan las capacidades óptimas aproximadas para la fabricación en gran escala de algunos artículos acabados.

Los gastos de capital están relacionados con los de la construcción de una fundición. En una comparación de las cifras correspondientes se observará que los gastos específicos de inversión para una tonelada de producto acabado pueden variar considerablemente según el tipo de producto de que se trate, y tal vez lleguen a ser cinco o seis veces superiores a la del lingote (en el caso de baterías de cocina) o solamente una fracción del mismo (si se trata de bastidores para muebles, escaleras de mano o andamiajes). Sin embargo, un detalle tiene especial importancia: para este tipo de productos pueden encontrarse capacidades de tamaño razonable en la gama de 500 a 5.000 t/a.

CUADRO 1: TAMAÑO MINIMO ECONOMICAMENTE VIABLE DE LOS ELEMENTOS DE FABRICACION Y SUS COSTOS DE INSTALACION (fundición = 100)

Planta	Metal elaborado %	Costo de inversión %
Fundición de aluminio	100	100
Fabricación de productos acabados		
Baterías	0,1	0,6
Latas	2,25	7,2
Bombonas para gas líquido	2,0	3,6
Barriles	0,4	1
Radiadores	0,75	1,1
Postes de alumbrado	1,22	1,8
Alambre trenzado, conductor sin aislar	4,4	0,9
Cables, conductores aislados	10	6
Recipientes y tanques	1,2	2
Tubos telescópicos y botellas para aerosoles	5	6,5
Placas celulares para la industria de la construcción	0,7	0,6
Pórticos, pequeños edificios	1,0	0,4
Bastidores para muebles, escaleras de mano, andamiaje	0,8	0,2

2. Cobre

En la actualidad, la mayor parte del cobre se elabora mediante la minería, la lixiviación y cementación de desechos, la concentración, la fundición y el refinado. La minería a cielo abierto es más frecuente que la subterránea y los terrenos de recubrimiento, o desechos, contienen cierta cantidad de cobre. A menudo, los desechos se someten a lixiviación para extraer el cobre, que puede recuperarse haciendo pasar la solución de

lixiviación por un lecho de chatarra, que precipita el cobre metálico y disuelve el hierro; esta última operación se denomina cementación

El mineral de cobre procedente de la mina, que contiene a menudo menos de un 1% de cobre, se transporta al concentrador donde primero se tritura y luego se pulveriza con agua. La pulpa del mineral molido pasa a unas cubas de flotación, donde los concentrados de cobre se recogen en forma de espuma. Después de la deshidratación, pasan a la fundición. En ésta, los minerales sulfurosos reaccionan con el oxígeno y los fundentes para producir cobre metálico impuro, SO_2 y escoria. La fundición se produce en dos fases.

En el horno de reverbero se funde el concentrado de cobre para producir mata, los sulfuros mixtos de cobre y hierro. A continuación, se introduce aire en la mata en los convertidores, lo que produce cobre impuro, además de una escoria que contiene el hierro. Después el cobre impuro se funde en ánodos y se purifica mediante plaqueado en el cobre puro en un tanque electrolítico.

Otro proceso hidrometalúrgico es la lixiviación directa del mineral una vez recuperado el cobre por cementación o electroextracción. Sin embargo, últimamente se recurre al tratamiento hidrometalúrgico de concentrados, que podría reemplazar la fundición para evitar el alto costo de las instalaciones de control ambiental indispensables en toda nueva planta de fundición.

A mediados del decenio de 1970, con objeto de disminuir los costos de producción y sobre todo de energía, se modificó considerablemente el diagrama de fabricación convencional del sulfuro de cobre, que consistía en machaquear, amolar, flotar, deshidratar, fundir y refinar. Desde entonces predomina la tendencia que se describe a continuación.

Aumento del tamaño del equipo de extracción y molido para reducir los costos de explotación y mantenimiento (las llamadas economías de escala); intensificación de los procesos químicos y pirometalúrgicos por inyección de oxígeno, con lo que se aceleran las reacciones y se aumenta la capacidad de los hornos; sustitución de procesos pirometalúrgicos onerosos con gran consumo de energía por procesos hidrometalúrgicos menos caros que provocan reacciones químicas a temperaturas más bajas y un tratamiento más acabado de los materiales.

En la extracción, los adelantos tecnológicos comprenden desde explosivos mejorados y más eficaces hasta taladros de mayor precisión y movilidad. Entre los progresos logrados en los sistemas de tratamiento del mineral figuran la utilización de machacadoras móviles en el pozo, así como de flotas de camiones gigantes, medios de transporte de gran tonelaje (en vez de trenes y camiones) y enormes cintas transportadoras.

Las operaciones de trituración representan más del 50% del costo total del molido (machaqueo, amolado, clasificación, concentración, deshidratación). Por lo general, las operaciones de clasificación incluyen etapas intermedias de trituración después de remover material ya reducido a determinado tamaño.

A este respecto, en los dos últimos decenios se ha registrado casi universalmente un cambio fundamental en la tecnología de clasificación, sustituyéndose el rastrillo y el clasificador de taza por hidrociclones. Sus enormes ventajas son su clasificación y separación eficaces de finos, bajo

consumo de piezas de recambio, tamaño muy pequeño del equipo, que permite duplicar la capacidad de molido en una misma planta, y su fácil adaptación a controles automáticos del circuito de amolado.

Se denomina molido autógeno el amolado del mineral por sí mismo, sin recurrir para ello a cuerpos metálicos o no metálicos especiales distintos del mineral. Sin embargo, por sí solo, el molido autógeno no siempre se presta para triturar y amolar grandes trozos de roca, como en el caso de ciertos tipos de roca que presentan deficiencias o de cambios frecuentes de la calidad de la roca. Para asegurar un funcionamiento ininterrumpido en tales casos, se introducen grandes bolas de acero para contribuir al molido en cantidades que oscilan entre el 2 y el 10% del volumen total. Actualmente, en la mayoría de estas amoladoras semiautógenas estas bolas de acero representan menos del 5% del volumen, mientras que en las amoladoras tradicionales representan el 75% del volumen. En la mayoría de las actuales operaciones de cobre pórfito, en que se tratan entre 20.000 y 150.000 toneladas diarias, las amoladoras semiautógenas reemplazan las etapas secundaria y terciaria de machaqueo de la roca y la etapa de molido con varillas de acero.

En la esfera de la concentración, se implantó recientemente en el Canadá un nuevo sistema tecnológico para sustituir las celdas de flotación tradicionales. Se trata del sistema denominado flotación en columna. Ofrece una serie de ventajas para la separación de los distintos minerales, sobre todo en la industria del cobre y en la extracción de subproductos del molibdeno.

La característica principal de esta columna es que carece de partes móviles y los sólidos se mantienen en suspensión tan sólo por burbujas ascendentes.

La hidrometalurgia, en particular la tecnología de lixiviación, demostró ser un método seguro, eficiente y eficaz en función de los costos para una serie de metales, entre ellos el cobre, el oro y el uranio. Estos procesos químicos pueden operarse de diversas formas, por ejemplo, mediante la lixiviación in situ, cuando no se excava el material fragmentado y fracturado, o la lixiviación en montones, cuando la roca triturada se coloca en cojines especialmente preparados y se rocía con licores de lixiviación debidamente recirculados. La lixiviación también puede efectuarse a presión atmosférica o en recipientes cerrados a temperatura y presión elevadas. Puede ser estrictamente química, si se utiliza ácido, soda cáustica o cianuro, o biológica, con ayuda de distintas cepas de bacterias. Estas no lixivian realmente los materiales sino los tornan susceptibles a la lixiviación química posterior al acelerar la oxidación de los minerales sulfúricos.

La lixiviación es una tecnología relativamente barata y sencilla, fácil de introducir, pues no requiere equipo muy complejo. Los licores de lixiviación obtenidos ya sea mediante la lixiviación in situ, en montones, en cubas o mediante agitación, se conducen a una unidad de extracción de disolvente para su purificación y luego se someten a reducción al estado metálico por electroextracción (a cátodos de cobre).

Mientras que los minerales sulfúricos pueden lixivarse a bajo costo con soluciones férricas reforzadas con la tecnología de lixiviación bacteriana, tratando los óxidos mediante el método más convencional de lixiviación por ácido, la nueva tecnología de extracción de disolvente posibilita depurar eficazmente esas soluciones para su etapa final de electroextracción y

producir cátodos de alta pureza (99,9% Cu). Esta tecnología de extracción de disolvente y electroextracción goza hoy de gran aceptación en países desarrollados como los Estados Unidos y el Canadá.

Más que en cualquier otra esfera, las tecnologías económicas se han difundido en la pirometalurgia, cuyos elevados costos dimanaban del alto consumo de energía. Una forma de reducir los costos es disminuir la temperatura en la conversión de minerales en metales, como ocurre en el proceso por segregación.

El otro método consiste en intensificar el proceso con inyección de oxígeno, lo que acelera las reacciones, aumenta la capacidad de los hornos y permite obtener productos a más bajo costo.

El nuevo proceso de fundición más aceptado es sin duda el proceso Outokumpu de fundición rápida, que combina en un solo proceso las etapas de tostación, fundición y conversión parcial. Cuando sólo se utilizaba aire precalentado (a 450°C) para suplementar el calor generado por la oxidación exotérmica de FeS, las matas analizadas denotaban sólo de 45 a un 50% de Cu, por lo que debía añadirse fuel para finalizar la reacción. Al introducir aire enriquecido con oxígeno, el proceso se tornó completamente autógeno y el contenido de cobre de la mata resultó de 65 a 70%. Con una mata de alta ley, la capacidad de conversión y el consumo de energía necesarios disminuyeron mucho: casi de 40 a 50%. Además, la adición de oxígeno reduce el volumen de gases y aumenta su contenido de SO₂ de la cantidad normal de 10 a 15% hasta 30%.

Tratándose de concentrados de distinta composición y de regular la ley de la mata, la flexibilidad del proceso de fundición rápida se basa en que el grado de oxidación en la fundición por suspensión (rápida) puede regularse rápida y fácilmente modificando la relación entre el concentrado y el oxígeno en el aire del proceso.

Entre otras tecnologías modernas de fundición del cobre, cabe mencionar los procesos El Teniente, Inco, Mitsubishi, y Noranda.

3. Plomo y zinc

La complejidad de los minerales de plomo y zinc explica los múltiples diagramas para la recuperación racional de diversos componentes de metal en las distintas combinaciones de minerales. Hasta la fecha, los principales tipos de minerales han sido minerales de plomo, zinc y cobre, plomo y zinc, cobre y zinc, y plomo y cobre. La tasa de recuperación global de metales en minerales tan complejos, si se calcula sobre la base de su contenido recuperable en un concentrado terminado, rara vez excede del 80%. Estas tasas de recuperación son aún más bajas si se combinan sulfuros con óxidos. En efecto, la recuperación por flotación no presenta dificultades en cuanto a concentrados de flotación a granel. Las pérdidas de metal ocurren principalmente a partir de la flotación selectiva.

Por consiguiente, en los últimos años han surgido dos nuevos métodos básicos para tratar minerales sulfúricos complejos de plomo y zinc: el primero consiste en someter los concentrados a granel a tratamiento pirometalúrgico desde un principio, sin separarlos previamente; el segundo, en mejorar las tecnologías para el tratamiento de los distintos concentrados.

Con el primer método se evitan pérdidas excesivas de metales en la etapa de separación por flotación y, por lo general, se obtiene una tasa de recuperación de metales de 90 a 95%, en comparación con la tasa de recuperación media resultante si se aplican otros métodos clásicos, que es del 80%. El proceso más notable a este respecto es el de fundición "Imperial", que cuenta con 13 instalaciones industriales en que se obtiene una tasa general de recuperación de metales de aproximadamente 95%. Sin embargo, este proceso no ofrece soluciones adecuadas para todos los problemas y se estudian nuevos procesos químicos al efecto.

En la esfera de la fundición directa de concentrados, como en el caso del cobre, existen dos tipos de nuevos procesos: los que se basan en la fundición en baño, como el proceso Boliden Kaldo (TBRC) y el proceso QSL. Los hornos del otro grupo de fundición directa se basan en las tecnologías de fundición rápida desarrolladas por Outokumpu y Kivcet.

En todo caso, cabe señalar que estas nuevas tecnologías aún deben ser probadas en forma convincente en plantas industriales en gran escala.

4. Estaño

Habida cuenta de la situación actual del mercado del estaño, es sumamente importante hallar métodos más eficaces desde el punto de vista económico en esta industria. Por ejemplo, el proceso fumante y la búsqueda de un método eficaz de flotación para finos de estaño merecen atención especial.

En el decenio de 1970, se extrajo una proporción creciente de estaño de filón debido al agotamiento progresivo de las fuentes de estaño aluvial. Resulta cada vez más difícil obtener concentrados de estaño de alta ley de material de filón manteniendo una alta tasa de recuperación. En vez de perder cantidades cada vez más importantes de estaño en un esfuerzo por mejorar los concentrados, la tendencia predominante consiste en utilizar los procesos fumantes, que arrojan un concentrado de mediana calidad, 40 a 50% de Sn y altas tasas de recuperación, superiores al 90%. En cambio, si se utilizan métodos de transformación del mineral se obtienen concentrados con aproximadamente un 60% de Sn y una tasa de recuperación del 50% como máximo.

En casos favorables, la utilización de humo podría sustituir completamente la transformación del mineral para producir un concentrado directamente de la mena. Pero esto ciertamente exige partir de menas de alta ley. Por lo general, para aplicar este proceso se requieren productos con un mínimo de 7% de Sn.

Con miras a lograr una mayor recuperación del fino de estaño resultante de un molido cada vez más fino para liberar casiterita, especialmente cuando se trate de minerales sulfúricos, se ha difundido mucho el método de flotación, no sólo para separar sulfuros de los concentrados de casiterita por flotación, sino también para liberar casiterita de los minerales de ganga mediante la flotación. Aunque la producción de este concentrado de flotación puede aumentar considerablemente la tasa de recuperación de estaño, en un 20% por lo menos, el producto resultante es de muy baja ley, dado que sólo contiene un 20% de Sn, y requiere nuevos métodos de tratamiento.

5. Níquel

Los tratamientos utilizados para recuperar níquel de minerales sulfúricos y lateríticos difieren mucho por las distintas características físicas que presentan los minerales. Los minerales sulfúricos, entre los que el níquel, el hierro y el cobre presentan una combinación física propia, admiten una concentración inicial por métodos mecánicos, por ejemplo, la flotación y la separación magnética. Los minerales lateríticos no responden a estos procesos físicos y es necesario extraer el níquel por medios químicos. Hay dos tipos principales de minerales lateríticos: la limonita y la serpentina, que contienen depósitos.

Procesos pirometalúrgicos. En una primera etapa, los minerales sulfúricos se machacan y muelen para reducir el material al grado de fino necesario para su separación. Los sulfuros se separan de la ganga mediante procesos de flotación con espuma o separación magnética. A continuación, casi todos los minerales sulfúricos se someten a una serie de procesos pirometalúrgicos de tostación, fundición y conversión.

Los minerales de óxido de níquel también se pueden transformar mediante la pirometalurgia. Se funden con ayuda de un material sulfúrico, yeso, por ejemplo, a fin de producir una mata de hierro y níquel que se pueda tratar en forma similar a la mata obtenida de los minerales sulfúricos.

Ambos tipos de mineral se pueden someter a lixiviación con amoníaco. Los minerales lateríticos del tipo de la limonita también se pueden lixiviar con ácido sulfúrico. Dado que ofrece posibilidades de economizar energía y mejorar la tasa de recuperación de metal, este proceso parece de interés creciente. Los minerales lateríticos de tipo serpentínico se utilizan principalmente para la producción de ferroníquel. Entre los posibles adelantos tecnológicos en la producción de níquel figuran la fundición del plasma para extraer directamente el metal de los minerales y el empleo de disolventes orgánicos para separar el níquel de las soluciones.

Anexo 2

ACTIVIDADES DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN LOS PAISES EN DESARROLLO

Cuadro 1. Actividades de investigación y desarrollo en América Latina

País	Nombre de la institución	Recursos en millones de dólares EE.UU. 1985	Actividades	Personal profesional
Argentina	INTI	0,5	Extracción de Ni y Co.	14
Brasil	CEPED	13,0	Beneficio y lixiviación biológica de minerales de Cu. Examen de las condiciones ambientales en el proceso de extracción y preparación de mineral de Cu. Desarrollo de aleaciones de Cu para fabricación de monedas.	160
Brasil	CETEM	2,0	Estudios en plantas experimentales de tratamiento de mineral de Cu, Pb y Zn. Elaboración de finos de mineral de Sn. Flotación a granel de minerales de Cu y Ni. Electrorrefinación de Cu con corrientes ondulatorias.	149
Brasil	CTP	0,5	Control del medio ambiente en las industrias del Cu y del Ni.	10
Brasil	IPT de São Paulo	0,04	Extracción de Cu de minerales oxidados complejos.	2.600
Chile	CIMM	2,0	Preparación y metalurgia de mineral de Cu. Métodos de transformación del oro para "pequeñas minas". Separación del molibdeno y el arsénico. Recuperación de rutilo de los residuos del cobre. Sistemas de transporte hidráulico de materiales sólidos.	300
Chile	INTEC	1,0	Lixiviación en montones de minerales de Cu, de Au y de Ag. Concentración por gravitación y recuperación de residuos de Cu, Au, Co, W, etc.	72

Cuadro 1 (Cont.)

País	Nombre de la institución	Recursos en millones de dólares EE.UU. 1985	Actividades	Personal profesional
Chile	INACAP	8,5	Capacitación en control de procesos y automatización en la industria del cobre.	121
Chile	Sociedad Minera Pizarro Ltda	n.d.	Exploración y beneficio de yacimientos de Pb. Tecnologías alternativas para obtención de Al y Pb. Aleaciones de Pb.	6
Chile	Universidad de Tarapaca	0,05	Ensayos no destructivos, normalización y control de calidad de productos metálicos.	52
Colombia	CIDI	0,12	Recuperación del Zn en una planta siderúrgica.	15
Costa Rica	Instituto Tecnológico	0,04	Extracción de minerales de aluminio. Reciclaje y refinación de aleaciones de aluminio.	8
Ecuador	Politécnica de Litoral	0,06	Aleación del aluminio. Reciclaje y refinación de chatarra. Conformación electrónica del Ni puro, aleaciones de Zn y Cu.	7
Jamaica	Instituto de la Bauxita de Jamaica	n.d.	Perfeccionamiento de la elaborabilidad de las bauxitas bohemítica y goethítica de Jamaica.	26
México	Instituto Politécnico Nacional, Esiquie, Laboratorios pesados de Ingeniería Metalúrgica	0,23	Lixiviación de concentrados de metales no ferrosos. Subestructuras producidas a altas temperaturas. Establecimiento de secuencias óptimas de laminación.	50

Cuadro 1 (Cont.)

País	Nombre de la institución	Recursos en millones de dólares EE.UU. 1985	Actividades	Personal profesional
Perú	INGENMET	1,708	Exploración y evaluación de yacimientos (Cu, Pb, Zn, Ag); (Sn, W, Au). Problemas de minería subterránea, beneficio de los minerales. Flotación de minerales polimetálicos. Lixiviación bacteriológica de minerales de Cu.	75
Trinidad y Tabago	Instituto de Investigaciones Industriales del Caribe	6,0	Desarrollo de prototipos de solidificación experimental.	60

Fuente: Directory of Research and Development Institutions, ONUDI, Departamento de Promoción Industrial, INTIB, 1987.

LISTA DE ABREVIATURAS

Instituciones de Investigación

CEPED	Centro de Investigación y Desarrollo
CETEM	Centro de Tecnología Mineral
CTP	Centro de Tecnología Promon
IPT	Instituto de Investigaciones Tecnológicas del Estado de São Paulo
INTI	Centro de Investigación para las Industrias Mineras
CIMM	Centro de Investigación Minera Metalúrgica
INTEC	Comité de Investigaciones Tecnológicas de Corfo
INACAP	Instituto Nacional de Capacitación Profesional
CIDI	Centro de Investigaciones para el Desarrollo Integral
INGENMET	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
CMRDI	Instituto Central de Investigaciones y Desarrollo de la Metalurgia

Cuadro 2. Actividades de investigación y desarrollo en Africa

País	Nombre de la institución	Recursos en millones de dólares EE.UU. 1985	Actividades	Personal profesional
Egipto	Universidad de ASSIUT Departamento de Minería y Metalurgia	0,15	Producción de aleaciones de Al-Ti y Al-Si. Beneficio de nefelina-cianuro. Reciclaje de materiales en la industria del aluminio.	28
Egipto	CMRDI	0,7	Activación de bentonitas. Regeneración de criolitas. Desarrollo de aleaciones y protección de superficies. Refinación del Cu. Reciclaje del Pb.	72
Egipto	TABBIN Instituto de Estudios Metalúrgicos	1,0	Producción de coladas de aluminio de alta ley. Resistencia a la corrosión de coladas de aleación de aluminio. Anodización. Termotratamiento de varios tipos de latón.	50
Kenya	Instituto de Investigación y Desarrollo Industrial de Kenya	0,98	Análisis de la contaminación por metales de las frutas y hortalizas en conserva.	45
Marruecos	Dirección de Geología	2,45	Explotación de yacimientos de metales no ferrosos. Investigaciones sobre metales preciosos asociados con el Cu y el Pb.	300

Fuente: Directory of Research and Development Institutions, ONUDI, Departamento de Promoción Industrial, INTIB, 1978.

Cuadro 3. Actividades de investigación y desarrollo en Asia

País	Nombre de la institución	Recursos en millones de dólares EE.UU. 1985	Actividades	Personal profesional
China	Instituto de Investigaciones Generales sobre Metales no Ferrosos	n.d.	Beneficio de los minerales, control de procesos, de la calidad y del medio ambiente, tecnologías alternativas, fabricación de productos de Al y Cu. Reciclaje.	1.200
China	Instituto de Investigaciones sobre Metales, Academia de China	3,5	Desarrollo de aleaciones a base de Al y Ni, tubos y alambres de cobre. Control de la calidad en la producción de Al y Ni.	1.200
China	Instituto de Investigaciones sobre el Magnesio y el Aluminio de Shenyang	n.d.	Exploración y beneficio de la bauxita diaspórica. Extracción a cielo abierto. Ingeniería para la industria del Al, con inclusión de los suministros principales y auxiliares para la elaboración.	900
India	Escuela de Ingeniería, Departamento de Metalurgia PUNE	1,8	Aleaciones "shape-memory" de Ni-Ti. Troquelado en líquido de aleaciones de Al. Chapado por laminación de Al/Al y Al/Cu.	12
India	Instituto Indio de Ciencias	0,9	Aleación mecánica de Ni, Cr, ThO ₂ ; aleaciones de Al con Mn y Li. Coladas de Al, Cu, Zn. Lixiviación bacteriana de minerales sulfúricos pobres.	350
India	India Lead PVT Ltd.	0,0126	Perfeccionamiento del proceso de refinación. Desplatación. Aleación de Pb-Sc, Ca-Pb.	15

Cuadro 3 (Cont.)

País	Nombre de la institución	Recursos en millones de dólares EE.UU. 1985	Actividades	Personal profesional
Indonesia	Centro de Desarrollo de la Tecnología de los Minerales, Departamento de Minas y Energía	2,0	Beneficio de los minerales complejos finos y sulfurados. Flotación de plomo sulfurado. Producción de sulfuro de Al. Estudio de estabilidad de mineral primario de Sn.	106
República de Corea	Instituto Coreano de Energía y Recursos	0,14	Origen y exploración de los yacimientos de metales no ferrosos del país.	10
República de Corea	Instituto Coreano de Maquinaria y de Metales	19,0	Desarrollo de coladas de aleaciones especiales a base de Ni para su empleo en turbinas de gas.	620
Malasia	Departamento de Estudios Geológicos	5,39	Exploración y evaluación de minerales.	127
Pakistán	Centro de Desarrollo y de la Industria de los Metales	n.d.	Desarrollo de aleaciones de metales no ferrosos. Procesos de fundición y solidificación. Arenas para moldeo.	7
Pakistán	División de Minerales y Metalurgia del PCSIR	n.d.	Sustitución de minerales y productos a base de minerales importados. Beneficio de las menas de Pb antimónico.	34

Cuadro 3 (Cont.)

País	Nombre de la institución	Recursos en millones de dólares EE.UU. 1985	Actividades	Personal profesional
Filipinas	Centro de Investigaciones y Desarrollo de la Industria del Metal de Filipinas	1,2	Coladas de Al, Cu. Galvanoplastia.	128
Tailandia	Instituto de Desarrollo de las Industrias de Labrado de Metales y Maquinaria	n.d.	Colores de joyería, fundición centrífuga.	7
Tailandia	Centro Regional de Recursos Minerales	0,027	Exploración y beneficio de las menas de Pb, Zn, Sn y Ni.	9

Fuente: Directory of Research and Development Institutions, ONUDI, Departamento de Promoción Industrial, INTIB, 1987.