

TENDENCIAS GENERALES ACTUALES EN PIROMETALURGIA DEL COBRE*

AKIRA YAZAWA (**)

I. INTRODUCCION

Debido a los problemas de contaminación ambiental y a la crisis energética, la metalurgia extractiva no-ferrosa se encuentra hoy en un período revolucionario, y el mayor interés de los metalurgistas extractivos se encuentra enfocado ahora en los métodos de producción donde hoy se utilizan procesos comerciales como el Mitsubishi y el Noranda. En el presente trabajo se ha hecho una evaluación de los procesos modernos de fundición de cobre, pese a que es difícil dar una solución simple para tal tipo de problema, debido a que deben considerarse muchos factores.

La extracción de cobre via hidrometalúrgica es muy interesante y bajo condiciones adecuadas parece que puede esperarse bastante. Sin embargo, para el tratamiento de concentrado de cobre conteniendo fundamentalmente calcopirita, la vía hidrometalúrgica difícilmente puede competir con la vía pirometalúrgica debido a lo siguiente:

- 1) La reacción de fusión, es mucho más rápida que la reacción de lixiviación, y el contenido de cobre por unidad de volumen de los fluidos es más de diez veces superior en pirometalurgia en comparación con una solución acuosa. La vía pirometalúrgica entonces, se presta para tratar efectivamente una gran cantidad de mineral.
- 2) El proceso de fusión es ventajoso para recuperar los metales preciosos.
- 3) La energía total requerida en la vía pirometalúrgica es considerablemente inferior a la requerida en la vía hidrometalúrgica.

- 4) La calidad del cobre obtenido en el refino electrolítico es superior al de la electroobtención.
- 5) Desde el punto de vista de la contaminación debida a los descartes, los residuos de lixiviación son mucho más problemáticos que las escorias.
- 6) El ácido sulfúrico, como producto final extraído del azufre contenido en el concentrado, es el más práctico mientras sea vendible.

Por ello, no cambiará dentro de algunas décadas la superioridad de la vía pirometalúrgica, y en el presente artículo se intentará hacer precisamente una comparación entre los diferentes procesos de fusión.

II. PROCESOS DE FUSION TRADICIONALES

1.— Reverbero, Horno Eléctrico y Alto Horno.

En forma general puede considerarse que el proceso de fundición de cobre consiste en cuatro etapas, a decir, tratamiento preliminar del concentrado, fusión a mata, conversión y refino de ánodos. Como tratamiento preliminar se adopta selectiva-

(*) El presente artículo fue entregado por el autor al Depto. de Metalurgia (UTE) para su publicación en Chile, y ha sido traducido del manuscrito original en inglés por el Prof. Dr. Nelson Santander.

(**) Profesor del Instituto de Investigaciones de Tratamiento de Minerales y Metalurgia, Universidad de Tohoku, Sendai, Japón. Profesor visitante en la U.T.F.S.M. (Agosto 1975).

mente el mezclado, el secado, el peletizado, la tuesta o la sinterización, etc., dependiendo del método de fusión que siga a continuación. Casi siempre se usa el convertidor P.S. para el proceso de conversión, y generalmente se usan cuatro tipos de hornos en el proceso comercialmente establecido, de fusión a eje, el reverbero, el eléctrico, el "flash" y el alto horno. Sin embargo, el horno de fusión "flash" comenzó alrededor de 1950, y puede decirse que el refinamiento que ha tenido justo en los años recientes lo coloca entre los procesos nuevos de fusión. Al comienzo entonces, se harán descripciones breves para los otros tres tipos de hornos, los que tienen una historia algo más larga.

a) Horno reverbero: Después de varias mejoras introducidas y con la automatización, este horno ha sido altamente perfeccionado para su uso comercial en la fundición de cobre. Tiene una larga vida, puede cumplir una larga campaña sin interrupción, y su operación práctica es fácil y flexible. Combinado con nuevas técnicas, tales como tostador de lecho fluido, flotación de escorias y quemadores con oxígeno, ha podido elevarse mucho la eficiencia del proceso de fusión. Por otro lado este horno tiene varias desventajas, tales como elevado consumo de combustible, baja eficiencia de crisol, gran cantidad de gases de escape, elevado costo de construcción, pérdida relativamente alta en la

escoria, formación de magnetita, etc. Aparte de estos factores, el problema más grave en este horno es la contaminación producida por el gas de escape, por lo que parece que será difícil que exista en el futuro en áreas con estrictas normas ambientales. No obstante, el moderno carguío de calcina combinado con tuesta fluo-sólido permite alcanzar un 90% de recuperación de azufre, y puede entonces aprovecharse la superioridad de este horno en aquellas áreas donde pueden destacarse los méritos de este horno.

b) Horno eléctrico: Este horno tiene los méritos propios del horno tipo reverbero, pero es aquí posible regular la formación de magnetita y es posible adaptarse a normas ambientales estrictas, ya que la recuperación de SO₂ fácilmente se lleva a cabo debido a la pequeña cantidad de gas de salida. El problema es el consumo de energía eléctrica que alcanza a 600 KWh por tonelada de concentrado verde, ó 350 KWh en la calcina. Por ese motivo este proceso es adecuado en áreas especiales que tengan suficiente energía eléctrica barata.

En algunos casos se sugiere, como una razonable técnica moderna para la producción de cobre, el proceso tipo Brixlegg en el que se reduce a metal una calcina tostada "a muerte" en un horno eléctrico, pero se complica debido

LIBRERIA "UNO SUR"

ARTICULOS DE ESCRITORIO TEXTOS
UNIVERSITARIOS — ARTICULOS PARA
ESTUDIANTES

1 SUR 1362 — TELEFONO 33809
TALCA

BERTI HNOS. LTDA.

MUEBLES ESPECIALES EN
MADERA Y FORMALITA

Bibliotecas — Estanterías
Escritorio — Instalaciones
Mesones — Revestimientos

SANTA ROSA 4602
SANTIAGO

REQUIMAC

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS
PARA CHILE DE:

aveling barford ltd.
clayton cranes hoist
coles cranes
cullen detroit allison diesel
eimco mining machinery
english clay lovering
hortorf s. a. i. c.
norwalk co. inc.
norwalk-turbo co. inc.
omnilift inc.
subterranean tools inc.

PROVIDENCIA 1100 - OF. 1601
FONOS: 741169-746089
TELEX SGO. 370 - CASILLA 9294
SANTIAGO

a demasiadas impurezas en el cobre resultante.

- c) Alto Horno: Este horno es adecuado para plantas a pequeña escala, debido a sus aspectos ventajosos como son bajo costo de construcción, alta eficiencia térmica y elevada flexibilidad. Sin embargo, son serios los problemas de baja productividad, alto costo de mano de obra, tratamiento de gas SO_2 diluido y la mantención de una proporción fija para el material grueso. Es posible que en el futuro se mantenga este horno en fundiciones locales de pequeña escala, y en este caso sería adecuado el proceso Momoda que tiene un tratamiento preliminar simple y buen sistema de recuperación de SO_2 .

II.2. PROCESO DE FUSION "FLASH"

Dos tipos de proceso, el INCO, y el Finlandia se conocen como fusión "flash". Este último, establecido por la Outokumpu y desarrollado en Japón, será el tema que se discutirá aquí, ya que este horno se considera la alternativa con más expectativas frente al reverbero. Tiene varios aspectos interesantes, la razón de desulfuración se selecciona arbitrariamente, el consumo de combustible es bajo, la economía térmica es buena, tiene elevada velocidad de fusión cuando hay una elevada automatización, se alcanza fácilmente una elevada recuperación de azufre a partir de gas de escape rico en SO_2 , por lo cual este horno se adecúa a severas normas ambientales.

Sin embargo, debe hacerse notar que se requirió un historial bastante largo de mejoras para alcanzar el nivel actual después que fue inventado por la Outokumpu en 1949, y sólo hace poco pudo alcanzar este proceso una alta evaluación, especialmente en Japón. Hasta hace diez años, se han señalado varios problemas, tales como restricciones para el concentrado, dificultad para el tratamiento de material grueso, elevada pérdida en la escoria, crecimiento del piso debido a acreciones, problemas en las calderas, duro ataque a los refractarios, vida relativamente corta, etc., pero ellos han sido gradualmente superados y se ha llegado a hornos a gran escala. Estos hornos han sido el fruto de la acumulación de varias mejoras tecnológicas en el mezclado de concentrado, la modificación de un secador "flash", la introducción de aire precalentado a alta temperatura, el diseño del quemador de concentrado, altura de la torre de reacción, diseño de varias partes del horno, método de refrigeración de los refractarios, etc.

La elección del método, teniendo dos posibilidades, es a menudo tema de preocupación al construir el horno.

- i) Para el secado de concentrado se dispone de:

- a) horno rotatorio, o
b) secador flash

- ii) Para limpiar la escoria se puede emplear:

- a) flotación, o
b) horno decantador

- iii) Para obtener una gran producción se puede utilizar:

- a) enriquecimiento en oxígeno, o
b) aire precalentado a elevada temperatura.

De las experiencias en Japón se concluye que sería mejor seleccionar a los b) como los métodos fundamentales, sin embargo, la combinación de dos métodos, tales como un horno rotatorio seguido luego de un secador flash, o bien la introducción de oxígeno en forma auxiliar, parecen ser efectivos, y dan flexibilidad.

Como un desarrollo reciente puede mencionarse el llamado horno eléctrico "flash" establecido en la fundición Tamano, en el cual se instalan tres electrodos en hornos flash-decantadores sin requerir el empleo de hornos separados de limpieza, y un escape con chaqueta de agua conecta el decantador con la caldera. Usando este horno se obtiene la escoria de descarte directamente del "flash", y como hay una menor cantidad de gas de salida y una temperatura más adecuada de éstos, disminuyen los problemas de polvos y de calderas. Otro proceso, el desarrollado en la fundición de Saganezaki, ha permitido subir el contenido de cobre en el eje hasta 60-65% sin aumentar el contenido de cobre en la escoria de descarte. Ensayos para obtener metal blanco o directamente cobre crudo serían interesantes en algunos casos especiales, pero en el proceso normal de fusión "flash" parece ser mejor obtener escoria de descarte vía pirometalúrgica, luego 65% de cobre puede ser el límite óptimo como grado del eje.

Sin embargo hay algunos aspectos débiles en el horno "flash" y debido a ellos surgen ciertas dudas en torno al tiempo que pueda mantener este horno su superioridad en el futuro. Para este horno se requiere un concentrado completamente seco, el que se dispersa en fase gaseosa junto a aire precalentado a alta velocidad en flujo concurrente. Por tal motivo el arrastre mecánico de polvo tiende a aumentar, y las partículas de concentrado se someten a una fuerte oxidación sin coexistir con suficiente cantidad de sílice por lo que se produce demasiada magnetita, junto a esos problemas inherentes al mecanismo de oxidación, los ingenieros acostumbrados a trabajar con reverberos plantean sus dudas acerca de la flexibilidad de operación del "flash" materiales de carga, refractarios, etc. Pese a eso, el proceso "flash" es aún suficientemente nuevo como para esperar más desarrollo, y vale la pena considerarlo como el método alternativo al reverbero por varios años.

II.3. CONVERTIDOR Y HORNO DE ANODOS

El convertidor PS convencional es autógeno y se logra un razonable mecanismo de oxidación y remoción de impurezas mediante burbujeo a través del líquido. Sin embargo, debido al carácter discontinuo de su operación, surgen varias desventajas, por ejemplo, mano de obra elevada, fluctuaciones en la concentración de SO_2 , escapes de SO_2 durante el vaciado, vida del horno relativamente corta, etc. Algunos metalurgistas se interesan en el convertidor tipo Hoboken, pero sería preferible la conversión continua mediante un simple horno estacionario. Esto puede esperarse que se efectúe en escala industrial si el rol del convertidor es el de tratar el contenido de 60 a 85% de cobre. En esta dirección han aparecido varias propuestas, incluyendo al proceso Mitsubishi.

En cuanto a la operación convencional del horno de ánodos, ésta debe hacerse más efectiva. Aunque la obtención de acero es otro problema, debe tenerse presente que en el convertidor LD es posible extraer elevados contenidos de impurezas en corto tiempo, y regular precisamente la composición final del acero. Por otra parte, junto con la introducción de la conversión continua y una mayor tendencia al cargo de chatarra y cementos de cobre, podría eliminarse una considerable cantidad de impurezas en el horno de ánodos, dependiendo de las condiciones. Por ello se espera que aparezca un horno de refino a fuego para cobre crudo, que tenga una alta eficiencia.

III. PROCESOS DE FUSION PROPUESTOS RECIENTEMENTE

III.1. DESCRIPCIONES GENERALES DE LOS PROCESOS PROPUESTOS RECIENTEMENTE

Hasta ahora se han propuesto varios procesos de fusión, pero sólo unos pocos, incluyendo el Noranda y el Mitsubishi, han alcanzado la etapa comercial. Uno de ellos es la fusión directa en el Convertidor usando aire enriquecido con oxígeno, que se ha llevado a cabo en la fundición Hitachi utilizando un convertidor PS normal; pero en la actualidad se utiliza un nuevo horno "flash". Este proceso es interesante, ya que se enriquece gradualmente el contenido de cobre en el líquido hasta lograr finalmente metal, mediante soplos consecutivos utilizando un solo horno. Debe mencionarse eso sí, que la escoria producida se saca ocasionalmente. Como el convertidor corriente es algo caro para operar debido a varios factores, no puede decirse que este proceso sea adecuado para una producción a gran escala. Es posible que se haya sustituido este proceso por el proceso "flash"

debido a estas y otras razones tales como arrastre mecánico de polvo algo elevado, fugas de SO_2 , etc.

El proceso de fusión ciclón ha sido ampliamente investigado en la Unión Soviética, pero debido a la baja eficiencia térmica, elevada pérdida en la escoria y un fuerte ataque a los refractarios, no ha podido obtener aún suficiente éxito. El llamado proceso KIVCET, que es una nueva versión del proceso ciclón, aparece también como de futuro dudoso.

Muchas propuestas acerca de fusión continua de cobre han parado antes, o justo en la etapa de planta piloto. Los procesos propuestos por Sehnalek y otros, Bitingham, U.S. Bureau of Mines, y Queneau-Schuhmann, incluyen aspectos interesantes pero los datos prácticos no son suficientes como para hacer una evaluación. El proceso Worra es bastante famoso, pero parece ser muy delicado y no económico para llevarlo como horno comercial.

El proceso TBRC que se aplica en la extracción de níquel es igualmente interesante, pero puede no ser adecuado para producción de cobre a gran escala. Por ello sólo valdrá la pena de discutirse con detalle los procesos Noranda y Mitsubishi.

III.2. PROCESO NORANDA

En general se reconoce que el primer rasgo prominente del proceso Noranda es el hecho que la producción directa y continua de cobre puede lograrse con un solo horno. El segundo rasgo de este proceso es que es muy simple, se efectúa en una etapa en una sola unidad, y además presenta las siguientes ventajas: el Concentrado (con 8-10% H_2O) se carga directamente al horno mediante una correa "slinger" sin sufrir ningún tratamiento preliminar especial, con muy poca generación de polvo, el flujo de los líquidos es concurrente simple, y el tratamiento de un solo tipo de gas que contiene poco polvo puede vencer adecuadamente incluso las normas ambientales más rigurosas. Como tercer rasgo, y relacionado con los problemas anteriores, la operación práctica será fácil y flexible debido a que hay contenida una gran cantidad de líquidos, en este reactor semejante al convertidor clásico. Además, como cuarto rasgo, puede incrementarse fácilmente la producción al doble usando oxígeno.

Pese a lo anterior, parece que existen varios puntos débiles que pueden clasificarse en dos categorías, aquellos que se deben a la adopción de un proceso de producción concurrente y directa de cobre, y aquellos que se deben al uso de un horno tipo convertidor. Debido a la razón de la primera categoría, se hace inevitable una considerable pérdida de cobre en la escoria, por lo que la recu-

peración primaria de cobre es tan baja como 50 ó 60%, y toda la escoria producida debe tratarse mediante flotación. Los resultados de la flotación misma son buenos, pero la escoria debe enfriarse lentamente durante 5 días, y resulta dura lo que origina un elevado costo de molienda. Aparte de que se requiere una gran planta de flotación, el tratamiento de la coque puede constituir un problema según las condiciones locales. Debido al elevado potencial de oxígeno necesario para la producción directa de cobre, la escoria se encuentra sobresaturada en magnetita, y un aumento de la temperatura para aliviar este problema no es bueno para la vida del horno. También es un problema serio, el refinado de un cobre crudo que contiene 2% de azufre y un elevado nivel de As, Bi y Sb.

Deben señalarse además los problemas que acompañan al uso de un horno tipo convertidor. El consumo de combustible es considerable y comparable con un horno reverbero, debido a una elevada pérdida térmica por radiación. La vida del reactor es algo corta, pues una campaña dura 70 días, después de la cual se requiere como promedio un periodo de reparación de 12 días. Esto da como resultado una baja disponibilidad, elevado costo de mano de obra y mantención, y además se requiere otro reactor "stand-by" para la operación normal de la planta de ácido. Debido al uso de toberas, se hace difícil la introducción de aire precalentado y el deterioro de refractarios en la región de toberas es inevitable. Como el aire libre que se introduce al horno como filtración llega a 75%, deben tratarse grandes cantidades de gas de salida en enormes calderas recuperadoras.

Sin duda que podemos esperar otras mejoras a este nuevo proceso, pero vale la pena señalar que muchas de las desventajas descritas anteriormente se superarían si se usa este reactor sólo para producir metal blanco en lugar de cobre metálico.

III.3. PROCESO MITSUBISHI

Este proceso consiste en tres hornos: uno para fusión, uno para limpieza de escoria y otro para conversión, conectados entre sí mediante canales, con lo que se logra la producción continua de cobre a partir del concentrado.

El primer rasgo prominente de este proceso es que se usan hornos separados, para la fusión con potencial de oxígeno relativamente bajo, y para la conversión con alto potencial de oxígeno, de manera que desde el punto de vista termodinámico el proceso parece ser razonable y no se vería tan obstaculizado por pérdida de cobre, por la magnetita y por las impurezas. El concentrado y el aire enriquecido en oxígeno, se introducen directamente en el seno del eje, usando una lanza de soplado superior, sin la formación de una gran cantidad de



AL SERVICIO DE LOS USUARIOS DEL CALOR

LADRILLOS Y ESPECIALIDADES

- Básicos
- Aluminosos
- Sílico Aluminosos
- Carburo de Silicio
- Arenas de Moldeo

ASESORIA TECNICA

- Diseño
- Montaje y
Mantención de
Refractarios

PANAMERICANA NORTE 3076
CASILLA 63 SANTIAGO
FONO 771305 STGO
ASOCIADA A:
HARBISON WALKER REFRACTORIES
DIVISION DE DRESSER INDUSTRIES INC.

polvo y magnetita. Debido a este mecanismo dinámico de oxidación, se logra una rápida fusión del concentrado en un sistema compacto que incluye sistemas auxiliares, todo con un bajo costo de capital para su construcción. El contenido de cobre en la escoria descartada del horno de limpieza es bajo incluso para grados de eje de hasta 65% Cu. El carácter especial de la escoria del convertidor parece que se relaciona con la tranquila operación del proceso de conversión. Además el gas de salida está siempre en estado estacionario y con alto contenido de SO_2 , por lo que puede adaptarse a controles ambientales severos.

Sin embargo, como desventaja, este proceso tiene poca flexibilidad, ya que debe mantenerse un control preciso de los tres hornos para obtener un flujo estacionario de líquidos y la cantidad de retornos y chatarra puede estar restringida. Para aliviar estos problemas puede requerirse un horno auxiliar debido a la veloz dinámica de oxidación, el desgaste de refractarios constituye un problema bastante serio. Aunque el refinado del cobre crudo demora más que con el proceso convencional, la calidad del cobre obtenido parece ser mejor comparada con la de otros métodos de producción directa de cobre. Como el proceso ocurre en 3 hornos conectados a través del flujo de líquidos, y como no es aplicable el aire precalentado, se considera, pero debido a que el proceso de fusión es rápido, la energía total requerida es considerablemente inferior comparada con el proceso convencional.

En relación a este proceso, también se ha propuesto un proceso de fundición en sistema cerrado, en el cual podría en principio eliminarse el escape de gas de descarte.

III.4. TABLA COMPARATIVA DE LOS DIVERSOS PROCESOS DE FUNDICIÓN

En la Tabla 1 se han tabulado diversos datos para facilidad de comparación entre los diversos métodos, siguiendo el método propuesto por Kellogg (*).

Los datos para Outokumpu, INCO y Worera han sido copiados del artículo de Kellogg. Entre los diversos ítems, de especial importancia son los datos de combustible total equivalente (10^6 kcal/t conc) y la capacidad específica (t con/d/m³) que

aparecen tabuladas en la 4ª y 3ª línea desde abajo hacia arriba. Esto sugiere una superioridad del "flash" entre los procesos comerciales, y da expectativas a la fundición continua, tal como la Noranda y la Mitsubishi. Sin embargo para comparar el proceso práctico de fundición deben considerarse varios otros factores tales como flexibilidad y facilidad de operación, vida del horno, comportamiento de las impurezas, problemas de contaminación, costos de construcción, de mano de obra, de operación, de mantención, etc.

IV. CONCLUSIONES

Tal como ha sido discutido, todo proceso tiene sus ventajas y desventajas, y es algo difícil seleccionar sólo uno que sea el universal. Tanto el alto horno, el reverbero o el eléctrico pueden sobrevivir incluso en el futuro, dependiendo de las condiciones locales. Entre los hornos comerciales, el horno "flash" puede ser aceptado por el momento para uso universal desde el punto de vista de la velocidad de fusión, eficiencia térmica, protección ambiental, automatización, etc. Puede esperarse que este proceso conectado con un convertidor continuo sea el paso siguiente de avance.

Entre los procesos de fundición propuestos recientemente, el proceso Mitsubishi parece ser el más razonable a juzgar por la tecnología básica y la teoría. Aparte de ser procesos continuos, los hornos de fusión-conversión tienen rasgos interesantes, pero me temo que se requerirá algún tiempo para refinarlos de modo que queden como hornos industriales estables.

Si se considera al reactor Noranda como horno de fundición para obtener directamente el metal, aparecen muchas desventajas, pero sobrevivirá como horno para la producción de metal blanco. Combinando la teoría básica con las diversas experiencias prácticas puede concluirse que la producción directa de cobre en un solo aparato se verá afectada por diversos problemas. Sería mejor producir en una primera etapa un eje de 65% de Cu, y en un horno separado efectuar en seguida una conversión continua. Desde este punto de vista puede decirse que los 3 procesos con expectativas, el "flash" el Mitsubishi y el Noranda van llegando a un destino similar.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se debe a discusiones en el Comité para la Investigación de los Procesos Modernos de Fundición de Cobre auspiciado por el Instituto de Minas y Metalurgia del Japón. El autor desea expresar su sincero agradecimiento a todos los miembros de este Comité.

(*) H. H. Kellogg. "The future of Copper Pyrometallurgy", C. Díaz (editor), Inst. Ing. Min. de Chile (1974).

ITEM	PROCESO	Oxígeno Carga Verde al Reverbero	Neodima Cálculo al Reverbero	Oxígeno Flash	INCO Flash	Sagami Flash	Higi Flash- Eléctrico	Wenta Piso	Mitsubishi Semi- Comercial	Nota: Comercial	
										Con aire	Con enf. 02
Tipo de Proceso (C: cont.; B: batch)		C — A	B C — A	B C — A	B C — A	B C — A	B C — A	C	C	C	C
Capacidad (t con.)		1,050	950	500	1,100	1,440	1,200	86	130	727	1,450
Tamaño del Convertidor (m)		3.9 x 9.0	3.9 x 9.0	3.6 x 6.6	3.9 x 10.5	4.2 x 9.9	3.96 x 9.15	—	—	—	—
Vol. interno del Horno (m³)		1,339	1,371	283	774	916	661	87	85	292	292
Ley del Concentrado (% Cu)		25.2	27.1	21.4	30	28.2	25	23.7	25.7	24.9	24.9
Ley del Eje (% Cu)		34.4	41.5	55	46	60	50	—	60	—	—
Cobre Blister (% S)		—0.04	—0.04	—0.01	—0.01	0.015	0.05	0.6—0.9	0.3	2.0	2.0
Escoria de Fundición (% Cu)		0.47	0.5	1.0	0.55	0.53	0.56	0.5	0.8—1.0	12.0	12.0
Escoria final de Descarte (% Cu)		0.47	0.40	0.32	0.55	0.43	0.54	0.5	0.5	0.5	0.5
Combustible usado (x 10⁶ kcal/t conc)		1.46	1.15	0.43	0.16	0.53	0.39	1.39	0.56	1.3	0.17
Oxígeno Usado (N m³/t conc)		38	—	—	180	12.0	—	—	30	—	20
Calor Eléctrico (kWh/t conc)		—	—	—	—	20.8	56	—	45	—	—
Energía para molienda de escoria (kWh/t conc)		—	23.2	41.9	—	13.0	16.6	—	—	38.7	38.7
Combustible equivalente total (10⁶ kcal/t conc)		1.46	1.15	0.54	0.37	0.64	0.56	1.39	0.69	1.43	0.51
Capacidad específica (t conc/d/m³)		0.78	0.69	1.73	1.42	1.57	1.82	0.99	1.51	2.46	4.95
Gas de Fundición (% SO₂)		2.2	1.5	10—14	90	10—11	9—11	8—12	12—16	4.5	13.2
Gas de convertidor (% SO₂)		7—12	7—12	4—5	4—5	2—12	0—9	—	—	—	—