

# SINTERIZACION DE MATERIAS PRIMAS METALICAS NO FERREAS

## PARTE I

ANTONIO BALLESTER PEREZ y FELISA GONZALEZ GONZALEZ  
Departamento de Metalurgia. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense.

### 1. INTRODUCCION

El presente trabajo está relacionado con el tratamiento de finos minerales, concretamente concentrados de flotación, formados sobre todo por sulfuros de plomo, de cinc, o de ambos simultáneamente. El proceso seguido con estas materias primas es de aglomeración y más específicamente de sinterización. El fin primordial es doble y en él reside la principal diferencia con respecto a otros procesos como la sinterización de minerales de hierro. En primer lugar, se produce la tostación del concentrado. La fuente energética es la combustión del propio azufre en un medio oxidante, como el suministrado por el oxígeno atmosférico. Por lo tanto, no es necesario, en la mayoría de los casos, utilizar combustible para alcanzar la temperatura de aglomeración.

Por otro lado, el material tostado sinteriza obteniéndose un calcinado con la suficiente reactividad y resistencia mecánica como para permitir un óptimo tratamiento en los hornos de cuba de obtención de plomo

o de plomo-cinc (Imperial Smelting), o en otros hornos de obtención únicamente de cinc (de retorta vertical o electrotérmicos).

Se trata, pues, de un proceso ciertamente peculiar en el que se puede decir que ocurren dos fenómenos simultáneos. Uno de naturaleza física (sinterización) y otro de naturaleza química (tostación oxidante). En función de ello, se hace en primer lugar, un estudio teórico del proceso de sinterización, así como de los factores termodinámicos más importantes que condicionan una tostación. Posteriormente, nos detendremos en la descripción de una planta tipo de sinterización haciendo especial hincapié en cuáles son los requerimientos más importantes exigibles a una instalación de este tipo. Por último, se discutirán algunos aspectos relacionados con una marcha adecuada del proceso.

Cronológicamente podemos decir que el desarrollo de los procesos modernos de sinterización de minerales sulfurados comienza con las parrillas Huntington-Heberlein. A

continuación, se desarrollan las máquinas, con soplado superior, Schlippenbach y Dwight-Lloyd.

Los procesos continuos con soplado inferior fueron desarrollados en los años cincuenta. La primera máquina de este tipo se montó en Port Pirie (Australia) por Lurgi en 1955. Desde entonces, estos procesos han encontrado un extenso campo de aplicación y casi todas las nuevas plantas incorporan estas máquinas. Incluso las antiguas, con soplado superior, se han reconvertido, en muchos casos, a soplado inferior. En el año 1977 había montadas en el mundo unas treinta máquinas con una superficie total de sinterización de unos 2.000 m<sup>2</sup>.

Desde hace treinta años que se empezó a trabajar con estas máquinas; las mejoras introducidas han sido muchas, sobre todo por los esfuerzos realizados para adaptarlas a las plantas con hornos Imperial Smelting, pues estos hornos funcionan con rendimientos óptimos utilizando calcinados producidos de esta forma. Un aspecto en el cual ha sido necesario hacer modificaciones y

perfeccionamientos importantes es el de la captación de gases, tanto para el aprovechamiento del  $\text{SO}_2$  contenido en los mismos, como por los límites ambientales impuestos en cuanto a la polución atmosférica.

Mirando hacia el futuro, sin embargo, las máquinas de sinterización pueden ser sustituidas, sobre todo en la metalurgia extractiva del plomo. La razón se encuentra en una serie de procesos que hoy están en un nivel avanzado de desarrollo, y en algunos casos de explotación, que permiten la obtención directa del metal partiendo de concentrados ricos en plomo. Además, se ha conseguido producir gases con la concentración suficiente de  $\text{SO}_2$  para obtener ácido. El primer proceso comercializado para trabajar con esta filosofía lo montó Boliden. En los últimos quince años los estudios al respecto han sido múltiples, utilizando reactores cerrados que consumen aire u oxígeno. Es cierto, sin embargo, que muchos de ellos tan sólo se han probado a escala piloto y sus perspectivas de futuro no son muy claras. En cualquier caso, son procesos potencialmente competitivos con el actual proceso combinado de tostación y fusión separadas.

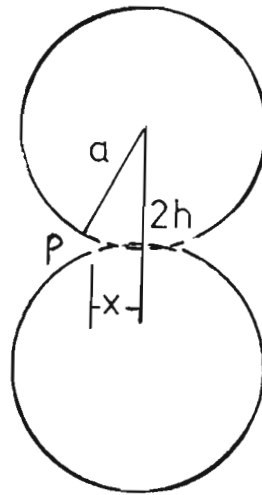
## 2. EL PROCESO DE SINTERIZACION

### 2.1. ASPECTOS GENERALES. DEFINICION

El proceso de sinterización es de especial importancia en tres campos tecnológicos bien definidos: metalurgia de polvos, materiales cerámicos y en la aglomeración de finos minerales. En todos estos campos se ha operado, desde comienzo de siglo hasta 1920, de una forma empírica, sin conocer adecuadamente la naturaleza del proceso. Sólo a partir de entonces se comenzaron a realizar estudios sistemáticos que condujeron en los años cincuenta a un conocimiento profundo a nivel atómico de los mecanismos de la sinterización. En la actualidad, se tiene la creencia de que se conocen, si no todos los factores que controlan el proceso, sí la mayoría de ellos, y, por lo tanto, se dispone de una más que aceptable aproximación y conocimiento de los problemas.

En el momento de definir la sinteri-

Fig. 1. Geometría del contacto entre dos partículas sinterizadas.



zación hay que tener en cuenta una serie de factores que son esenciales:

a) Aparece líquido en la medida en que siempre permanece un esqueleto sólido.

b) Se produce una disminución de la energía libre del sistema, que es la fuerza motora del proceso, como consecuencia de:

- Disminución en el área superficial específica debido a una iniciación y/o crecimiento de los contactos entre partículas.

- Disminución en el volumen de los poros y/o en el área superficial de los mismos.

- Eliminación de estados de no-equilibrio en la red del sólido.

c) Propiedades importantes muy similares a las del material compacto libre de porosidad.

Sobre estos tres puntos fundamentales se ha propuesto, por parte de Thümmeler y Thomma, la siguiente definición: "Se conoce por sinterización el tratamiento térmico de un sistema de partículas individuales o de un cuerpo poroso, con o sin la aplicación de una presión externa, en el que alguna o todas las propiedades del sistema cambian, al tener lugar una reducción en la energía libre del mismo por producirse una disminución en la porosidad. A este respecto, permanece la suficiente fase sólida para asegurar una estabilidad de forma".

El estado estable para cualquier material, según las consideraciones ter-

modinámicas, a temperaturas por debajo del punto de fusión del mismo, es un cristal simple con un equilibrio en sus defectos. En el cero absoluto, se tendría el cristal simple ideal sin ningún tipo de distorsión. A una temperatura determinada, y singularmente a las temperaturas de sinterización, es inevitable la presencia de defectos de red como vacantes y dislocaciones. A temperaturas elevadas, el polvo compacto se aproxima al estado estable mediante la cooperación de todos los mecanismos de transporte que se ponen en juego. En el polvo compacto existe un exceso de energía libre en forma de energía superficial aportada por todas las interfaces, tanto en relación con la atmósfera como en relación a la interacción de los granos entre sí a través de los límites de grano. Por tanto, existe un exceso de energía de red, la cual aumenta también con la existencia de un exceso de vacantes y de dislocaciones, junto con tensiones internas. La energía superficial dependiente de la geometría es relativamente mucho más pequeña (del orden de cientos de calorías por mol) que la energía asociada a la red (del orden de varios kilocalorías por mol).

Este aspecto energético se visualiza a partir de la existencia del llamado, por algunos autores, "espacio superficial" asociado a la existencia de un polvo y en el cual se almacena la energía. Este espacio puede contener el total de las partículas en el caso de un polvo fino y a partir de él se mantiene la alta actividad y sinterización de los polvos finos. El exceso de energía libre sintetiza la entalpía, proveniente del calor de reacción necesario para producir todos los defectos, y la entropía del estado de no-equilibrio ( $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ ).

Un aspecto que da lugar a una discusión bastante abierta es si el objeto del proceso es llegar siempre a un cristal simple. Sin embargo, esta cuestión carece de sentido al considerar un proceso de sinterización con una finalidad práctica industrial, pues el sinterizado compacto siempre permanece policristalino bajo las condiciones normales de trabajo. E incluso, como ocurre en la sinterización de minerales sulfurados, se busca una gran porosidad, aunque con buenas propiedades me-

cánicas. Todo esto no es óbice para decir que el verdadero objetivo final del proceso de la sinterización es la eliminación total de la porosidad.

## 2.2. ETAPAS DE LA SINTERIZACION

Se distinguen principalmente tres etapas o estados en el transcurso de la sinterización, si bien es cierto que entre ellos se producen constantemente solapamientos. De cualquier forma, esto no hace que sea superfluo el distinguir entre ellas las siguientes etapas:

### a) ETAPA INICIAL O DE CRECIMIENTO DE CONTACTOS ENTRE PARTICULAS

Bajo la influencia del exceso de tensiones y de vacantes descrito anteriormente, se produce un crecimiento de los contactos o cuellos (*neck*) entre partículas, según una ley exponencial dependiente del tiempo. En esta etapa las partículas de polvo permanecen individualizadas, puesto que todavía no es posible que tenga lugar un crecimiento marcado de grano más allá de lo que es la partícula original. Los esfuerzos resultantes de la tensión superficial mantienen los límites de grano entre dos partículas adyacentes en el plano de contacto. Sin embargo, es posible la formación ocasional de nuevos granos. Los puntos medios de las partículas se aproximan sólo de forma casi imperceptible (por una pequeña contracción), pero por contra tiene lugar un decrecimiento importante en la actividad superficial.

### b) ETAPA DE DENSIFICACION Y CRECIMIENTO DE GRANO

Según la figura 1, cuando la relación  $x/a$  excede de un cierto valor después de haberse intensificado el contacto entre granos, las partículas separadas comienzan a perder su identidad. La mayoría de la contracción total del sólido tiene lugar durante esta etapa, formándose una malla coherente de poros y continuando el crecimiento del grano. Es corriente que los límites de grano se muevan entre poro y poro. Cuando se excede más o menos el 90 por

**TABLA I**  
**MECANISMOS QUE SE PONEN EN JUEGO DURANTE LA SINTERIZACION**

A Sin transporte de materia	— Adhesión	
B Con transporte de materia (movimiento de átomos a grandes distancias)	— Difusión superficial	
	— Difusión en la red vía vacantes	
	— Difusión en la red vía intersticios	Movimientos de componentes individuales
	— Difusión lmites de granos	estructurales de la red
	— Vaporización y posterior condensación	
	— Flujo plástico	Movimiento de partes de la red
	— Deslizamiento de los límites de grano	
C Con transporte de materia (movimiento de átomos a pequeñas distancias)	— Restauración o recristalización	

100 de la densidad teórica, la proporción relativa de poros que han desaparecido aumenta rápidamente, conduciendo a la etapa final de sinterización.

### c) ETAPA FINAL CON POROS CERRADOS

Los poros aislados, conforme pasa el tiempo, se van esferoidizando. Posteriormente, todavía tiene lugar una densificación muy lenta, de tal forma que es muchas veces imposible saber si se ha completado y si la porosidad residual tiene un carácter permanente.

Muy a menudo, por ejemplo a temperaturas bajas, sólo se alcanza el primer estado. Bajo condiciones prácticas normales de sinterización, en donde ocurre una marcada densificación, hay que considerar que, por lo menos, ocurren las dos primeras etapas. Tan pronto como se calientan las fases los mecanismos de sinterización se ponen en marcha y es difícil distinguir la primera etapa.

## 2.3. POSIBLES MECANISMOS DE TRANSPORTE DE MATERIA

En la Tabla I se enumeran todos los mecanismos que tienen lugar durante un proceso de sinterización.

La adhesión ocurre en muchos tipos

de contactos entre partículas, pero no constituye el mecanismo dominante en casi ningún caso. La restauración y recristalización por sí solas son incapaces de producir una sinterización; sin embargo, no se pueden dejar de tomar en consideración, pues tienen un cierto significado durante la densificación y el crecimiento de grano.

Los mecanismos de transporte del apartado B, son, cada uno de ellos y en distintos procesos de sinterización, los más importantes a considerar. Dentro de estos mecanismos el transporte de materia vía una fase gaseosa puede ser importante en caso de tratamiento de algunos óxidos y cloruros, pero no produce contracción. En cuanto a la deformación plástica, puede ocurrir sin la aplicación de una fuerza externa como resultado de tensiones interfaciales o superficiales.

Sin embargo, es extremadamente probable que en todos los procesos de sinterización haya difusión superficial. La esferoidización de las superficies, internas o externas, y de los poros se produce por este mecanismo, el cual requiere la menor de entre todas las energías de activación de todos los tipos de difusión y entonces aparece a bajas temperaturas. Aunque no puede causar contracción de poros y, por tanto, densificación, es aceptado generalmente que esta difusión su-

perficial es un proceso dominante, incluso cuando se consiguen grandes densificaciones.

A la difusión de límites de grano se le asigna un importante papel en la contracción, aunque es muy discutido su mecanismo de actuación. No obstante, ella sola no explica una contracción. La difusión intersticial ha sido muy poco estudiada en relación al proceso de sinterización, aunque en la etapa primera de la sinterización se acepta que tiene una marcada influencia.

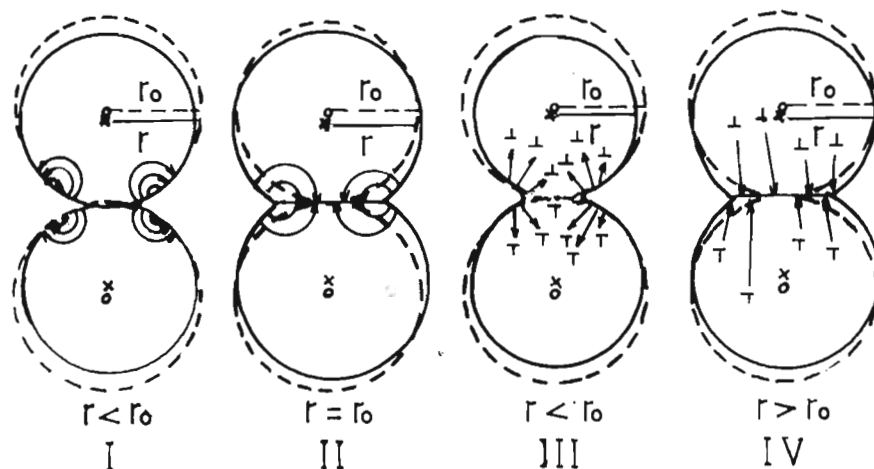
La difusión a través de la red por un mecanismo de vacantes se comenta en último lugar porque es el mecanismo más importante a tener en cuenta. Se producen gradientes de vacantes entre la red sin distorsionar y las superficies curvadas y los bordes de los poros, entre superficies con distintas curvaturas, y entre la red distorsionada y sin distorsionar. Incluso se ha encontrado entre los centros de las partículas y el centro del contacto con las partículas más próximas. La evolución de la difusión durante el proceso de sinterización viene gobernada por el tipo y la disposición geométrica de las fuentes y sumideros de vacantes. Las fuentes de vacantes a considerar son los poros más pequeños, las superficies cóncavas y las dislocaciones. Los sumideros de vacantes son los límites de grano, las superficies planas o convexas, los poros más grandes y las dislocaciones. Cuando se tienen en cuenta las relaciones entre las fuentes y sumideros de vacantes hay cinco posibilidades de transporte de materia. Estas se resumen en la figura 2.

#### 2.4. INFLUENCIA DE DISTINTOS FACTORES

Los factores que influyen los posibles mecanismos de transporte en el proceso de sinterización son muchos. Por ello, el conocimiento de los mismos es difícil y su control complejo. Es útil comenzar haciendo un resumen de todos ellos en este apartado, para después, en la Parte II referirnos de forma expresa a alguno de los aspectos que más importancia práctica tienen en la sinterización de sulfuros de cinc y de plomo. Estos factores son los siguientes:

a) Propiedades del material depen-

Fig. 2. Posibles mecanismos de difusión para las vacantes en un modelo experimental de sinterización.



dientes de la temperatura (incluyendo estructura y estado del enlace).

— Energía libre superficial e interfacial, incluyendo superficies de poro.

— Coeficientes de difusión (red, límites de grano y superficies).

— Coeficientes de viscosidad (en sustancias amorfas).

— Esfuerzos cortantes críticos (combinados con la acción de un flujo plástico).

— Presión de vapor y velocidad de vaporización (combinando la acción de vaporización y condensación).

— Estructura cristalina y estado del enlace.

b) Propiedades del polvo, pretratamiento y condiciones de sinterización.

— Área de contacto integral.

— Actividad superficial (estructura superficial real).

— Actividad de la red como una función del trabajado en frío, de tensiones de tracción y compresión, de defectos de red propiciados por condiciones de fabricación y del tamaño de los cristalitas.

— Orientación entre las caras en contacto.

c) Constituyentes extraños (incluyendo los introducidos por las propias condiciones de sinterización).

— Solubles (homogénea o heterogéneamente).

— Insolubles.

— Como capas superficiales (por ejemplo, películas de óxidos, solubles o insolubles, reducibles y no reducibles, con disociación y sin disociación en las condiciones de sinterización, etc.).

— Gases (adsorbidos, ocluidos y disueltos; efectos de la atmósfera de sinterización).

Los factores relacionados en el apartado a) gobiernan sobre todo los procesos de transporte y son responsables de su importancia relativa. En el b) también se incluye, aunque no se nombre específicamente, el tamaño de partícula y su distribución, lo cual tiene una influencia fundamental sobre el área

Fig. 3. Diagrama de fases termodinámico para el sistema Pb-S-O a 1.100 k. Los números dentro de los círculos están referidos a los equilibrios descritos en el texto: a) Composiciones gaseosas más usuales en los hornos de tostación.

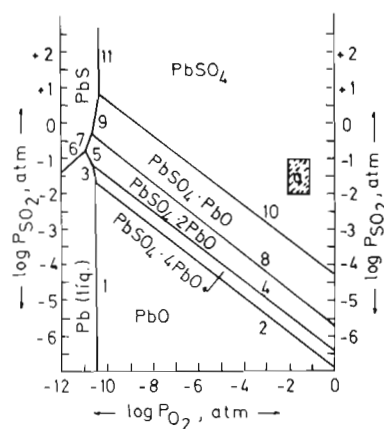
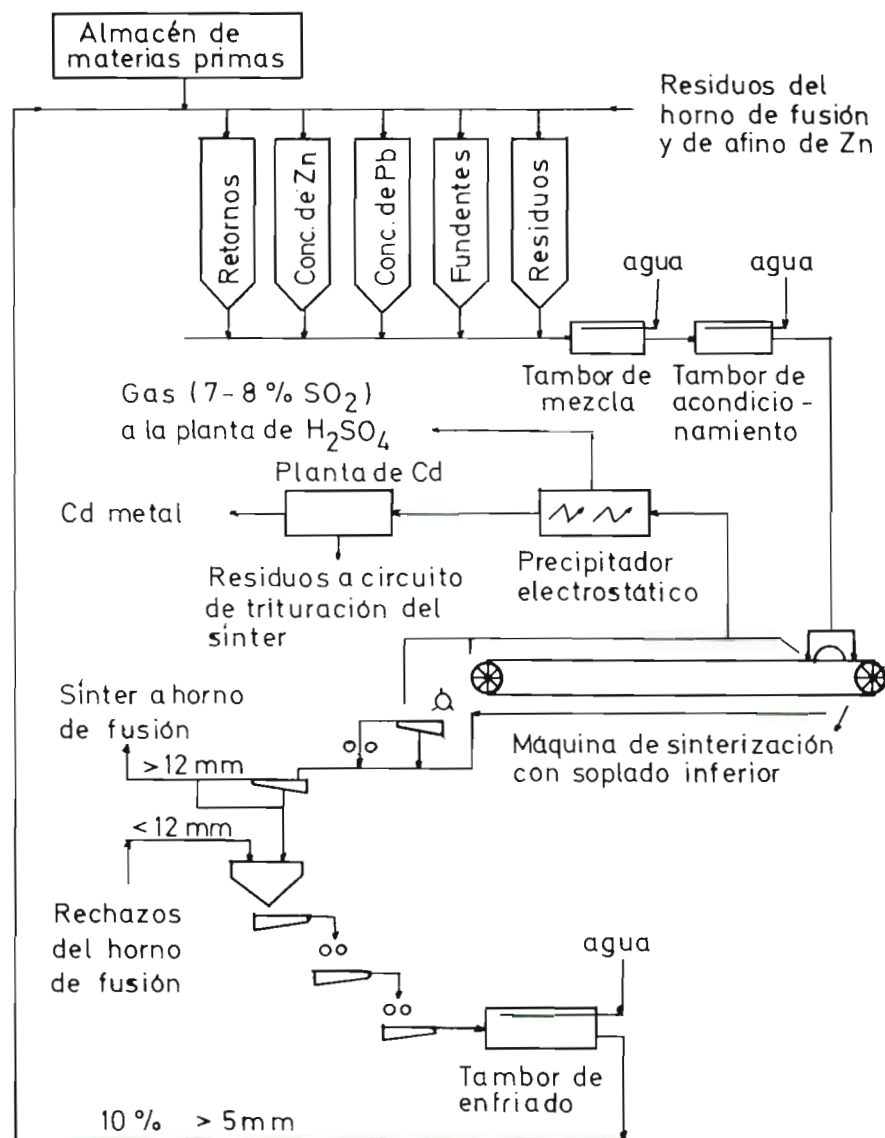


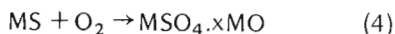
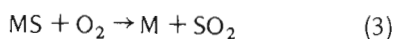
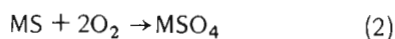
Fig. 4. Diagrama de flujo correspondiente a una planta típica de sinterización de minerales mixtos de cinc y plomo.



de contacto y algo menos sobre las actividades superficial y de red. Los apartados b) y c) tienen una importancia fundamental a nivel práctico y ejercen una influencia considerable sobre el mecanismo de transporte y la extensión en que éste puede participar en el proceso global.

### 3. TERMODINAMICA DE LA TOSTACION

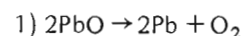
La tostación supone una combinación química con la atmósfera y está asociada normalmente con el calentamiento de minerales sulfurados para propiciar su reacción con el oxígeno de la atmósfera. Entre las reacciones que tienen lugar se pueden incluir las siguientes:



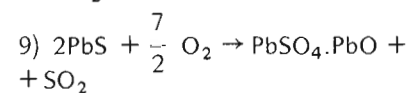
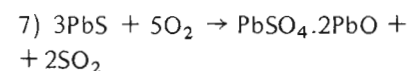
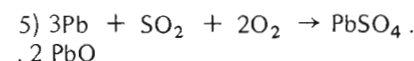
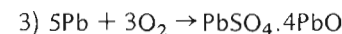
El proceso puede necesitar una fuente externa de calor o puede ser autógeno, dependiendo de la naturaleza exotérmica de la reacción que suministra el calor.

Un método adecuado para estudiar las condiciones en que se favorece cada una de las posibles reacciones que ocurren en la tostación de un sulfuro, como el de Pb, es el utilizado por Kellogg y Basu, quienes estudian los equilibrios para las reacciones en las que toman parte varias fases. En la figura 3 se representa un diagrama termodinámico de fa-

ses para el sistema Pb-S-O a 827°C. Las líneas del diagrama muestran la relación entre el log.  $P_{SO_2}$  y el log.  $P_{O_2}$  en el equilibrio para las distintas posibles reacciones. Se supone que los únicos gases que toman parte en la reacción son el  $SO_2$  y el  $O_2$ . Siempre que el  $O_2$  reaccione con un sulfuro, el  $SO_2$  estará presente y, por tanto, su concentración tendrá que ser tomada en cuenta. Las líneas 1 y 11 en la figura 3 son verticales debido a que representan un equilibrio en el que no toma parte el  $SO_2$  de forma directa, aunque en el 11 lo hace de forma indirecta.



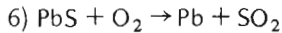
En 1 la constante de equilibrio es igual a  $P_{O_2}$  y en 11 es igual a  $1/P_{SO_2}^2$ , asumiendo actividad unidad para sólidos y líquidos. Con referencia a 11 si el log.  $P_{SO_2}$  es mayor que 0,83 y el log.  $P_{O_2}$  queda a la derecha de la línea correspondiente, el sulfuro de plomo podrá ser tostado a sulfato a la temperatura para la que se ha trazado el diagrama. Las líneas 3, 5, 7 y 9 están referidas a equilibrios en los cuales toman parte sulfatos básicos formados partiendo de plomo metal y sulfuro de plomo. De ellos, los más importantes en la tostación son el 7 y el 9:



En la constante de equilibrio de cada una de estas reacciones aparecen, tanto las presiones de  $O_2$  como de  $SO_2$ , y la variación de una de ellas propicia un cambio en la otra. Así, por ejemplo, si el PbS se introduce en una cámara conteniendo gases que dan lugar a log.  $P_{SO_2} = -2$  y log.  $P_{O_2} = -8$ , el producto sólido de tostación sería el  $PbSO_4 \cdot 2PbO$ .

Las líneas 2, 4, 8 y 10 están relacionadas con los equilibrios entre los sulfatos básicos y el óxido. Entonces, si a  $P_{O_2}$  constante disminuye gradualmente la  $P_{SO_2}$ , el  $PbSO_4$

reaccionará para formar sulfatos básicos y, posteriormente, convertirse en PbO a valores muy bajos de  $P_{SO_2}$ . Por último, la línea 6 es la correspondiente a la denominada reacción de tostación-reducción:

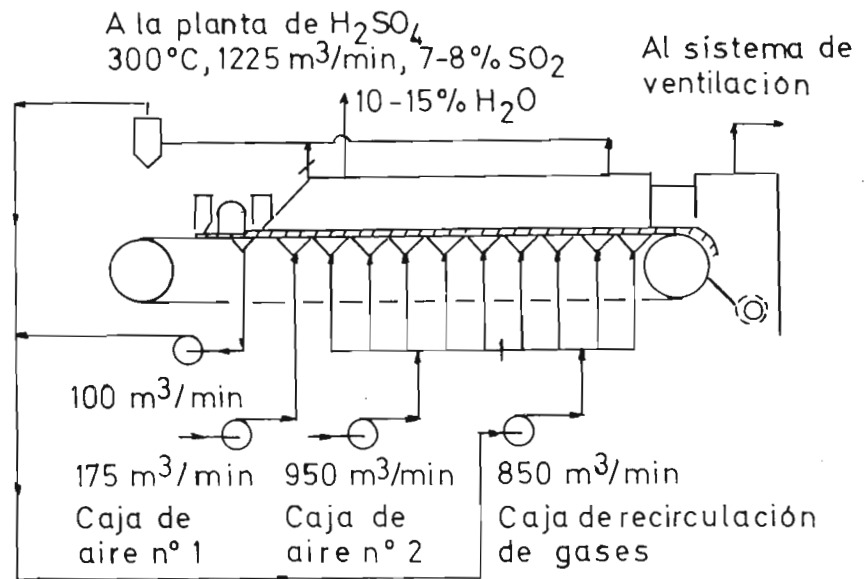


en la que el sulfuro se convierte directamente en plomo, siempre y cuando se controle adecuada y cuidadosamente la presión de los gases. De hecho, a esta temperatura ( $827^\circ C$ ), los valores de  $P_{SO_2}$  y  $P_{O_2}$  necesarios para producir plomo serían demasiado bajos, teniendo en cuenta las condiciones normales en el reactor de tostación. Pero a temperaturas más altas, el campo de estabilidad del plomo se hace más extenso hacia arriba y hacia la derecha, de tal forma que es posible la reacción 6, dando lugar a la aparición de plomo líquido, lo cual puede dar problemas durante la tostación. Esta reacción de producción de plomo ocurre también en los hornos de cuba para la reducción de minerales de plomo, cuando aparece PbS que no haya sido oxidado durante la tostación.

Una conclusión importante que se obtiene de estos diagramas es que no hay ningún punto, ni línea común, entre los campos de estabilidad del PbS y del PbO. Esto significa que el PbO no puede obtenerse por tostación del PbS sin que se produzca la aparición de sulfatos. La partícula tostada estará formada por PbO en las capas más externas, en donde las  $P_{SO_2}$  se mantienen muy bajas por barrido del  $SO_2$  con el exceso de aire. Por tanto, las capas de sulfatos aparecerán sólo cerca de la zona inerte de sulfuro sin tostar. La difusión será lenta a través de las capas de sulfato y será, por tanto, difícil una completa tostación, incluso a sulfato. La composición normal de los gases durante la tostación se muestra en la figura 3. Incluso con exceso de oxígeno es evidente la dificultad de una tostación a muerte hasta llegar al óxido. Una tostación sulfatante es relativamente fácil de conseguir reduciendo la cantidad de oxígeno presente en los gases.

Un aumento de la temperatura propicia un desplazamiento de las líneas 2, 4, 8 y 10 hacia arriba y, por tanto, se mejoran las posibilidades

Fig. 5. Disposición de los mecanismos de soplado y de recirculación de gases en una máquina de sinterización con soplado inferior.



de producción de PbO. Las máquinas de sinterización, en las que el aire se fuerza a pasar a través del lecho caliente de concentrados sulfurados del metal, son ideales para tener un arrastre continuo del  $SO_2$ , aumentando así la posibilidad de formación de PbO. No debe permitirse nunca un aumento excesivo de la temperatura porque entonces tiene lugar la reacción 6 y el plomo se obtiene fundido, lo cual puede provocar problemas en la permeabilidad del lecho de sinterización. El producto final de la máquina de sinterización es un producto aglomerado, pero muy poroso, con una adecuada resistencia mecánica y un gran desarrollo superficial, que lo hace idóneo para ser tratado en un horno de cuba.

El tratamiento con respecto a los concentrados de cinc y a los concentrados mixtos plomo-cinc es similar disponiendo de los correspondientes diagramas. Estos son fáciles de construir partiendo de los datos de energía libre a las temperaturas elegidas.

#### 4. DESCRIPCION DE UNA PLANTA

En la figura 4 se esquematiza una planta de sinterización.

Las materias primas son alimentadas a la máquina de sinterización a través de una cinta sin fin alimenta-

da a su vez desde distintas tolvas que las contienen. Entre las materias primas se encuentran concentrados de cinc y plomo, los fundentes necesarios, materiales de reciclado producidos en los hornos y en los procesos de afino, y, además, una cantidad determinada de sinterizado de retorno para ajustar el porcentaje de la carga a un 4,5-5,0 por 100 de azufre. Estas materias se mezclan en un tambor rotatorio con un sistema de paletas adecuado que favorece la operación. Se añade, también aquí, la casi totalidad de la humedad necesaria para dar permeabilidad a la carga. La alimentación así mezclada se transfiere entonces a un equipo de nodulización, que en casi todos los casos es un segundo tambor rotatorio, pero en forma de un disco pelletizador.

La carga que se obtiene en el equipo de nodulización se separa en dos partes. La primera se deposita sobre la parrilla de la máquina con un espesor de 25 mm y se hace pasar por un sistema de ignición, donde el sulfuro se comienza a quemar por succión.

Entonces la capa ya caliente de ignición pasa bajo un sistema de alimentación de más capacidad, el cual le superpone otra capa, de carga preparada, de 300 mm de altura. A partir de este momento, el mineral conforme evoluciona por el mo-

TABLA II

COMPOSICIONES TIPICAS DE DISTINTOS SINTERIZADOS CINC-PLOMO

	Zn	Pb	Cu	Cd	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	S
Avonmouth	45,2	20,1	0,7	0,11	8,7	4,3	3,6	0,8	0,5	0,6
Cockle Creek	42,1	20,5	0,4	0,11	11,3	5,4	3,5			0,7
Duisburg	41,3	20,5	1,4		12,6	3,9	3,0	0,6		0,8
Hachinohe	45,5	19,6	1,7	0,10	9,2	3,4	2,9			0,5
Harima	43,5	19,7	0,6	0,07	10,5	3,8	3,0			0,6
Kabwe	24,9	20,5			17,8	11,6	8,9	1,65		0,4
Miasteczko	40,5	17,1			11,8	5,4	4,8	2,6		1,0
Noyelles Godault	44,2	16,6			11,1	4,9				0,6
Titov Veles	45,5	22,5	0,6	0,28	10,2	4,5	4,3			0,9
Porto Vesme	43,3	19,8	0,6	0,22	10,4	4,5	3,4	0,6		0,7
Copsa Mica	38,0	18,0	1,9	0,13	12,0	8,0	5,5	1,3	0,5	1,2

vimiento de la parrilla, se va aglomerando al desplazarse hacia arriba el frente de reacción.

Al final de la parrilla, la torta cae desde la máquina sobre un sistema, primero de trituración y, después, de selección de tamaños. Concretamente, los trozos de más de 12 mm son llevados a la zona de preparación de cargas del horno de cuba. El material de menor tamaño se pasa por distintos trituradores y molinos hasta que no más del 10 por 100 tiene un tamaño mayor de 6 mm. Este sólido es finalmente enfriado con ventilación y agua antes de ser reciclado a la zona de preparación de la carga. En la mayoría de los casos la cantidad de finos generados es, naturalmente, insuficiente para satisfacer las necesidades que supone el control del azufre; la diferencia se consigue triturando los trozos de mineral mayores de 12 mm.

El gas de sinterización, que normalmente contiene sobre un 6 por 100 de SO<sub>2</sub>, es recuperado a través de una campana situada sobre la máquina y mandado a una planta de producción de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

En general, todos los fundidores, independientemente del metal que estén tratando, se han percatado de la importancia de un control exacto en las proporciones de los componentes de la carga, de una adecuada mezcla y de buen acondicionamiento, de incluso una conveniente deposición de la carga sobre la parrilla, sin segregación o compresión, de una adecuada ignición y de un apropiado control de tiro en la má-

quina. Estos factores afectan no sólo a la calidad del sínter, sino también a la composición de los gases. Cuando el combustible son los sulfuros de la carga, la concentración de SO<sub>2</sub> contenido en los gases de sinterización depende de la eficaz utilización del aire en el proceso. En la mayoría de las plantas de cinc y, menos, en las de plomo, es importante, tanto a nivel ambiental como económico, recuperar este SO<sub>2</sub> en forma de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Con respecto al volumen de aire requerido, se acepta que en este tipo de plantas una marcha normal no debe utilizar más de 500 m<sup>3</sup>/t, pues volúmenes mayores llevan a un mal uso de este aire, obteniéndose tortas demasiado frías. Con este volumen y un porcentaje de S del 4,5, el SO<sub>2</sub> de los gases es del orden del 6 por 100, si no hay recirculación de gas. Pero si se reciclan los gases obtenidos al final de la máquina, se puede llegar a un porcentaje de SO<sub>2</sub> entre el 6,5 y 8,0 por 100.

En la figura 5 se muestra un sistema de soplado para una máquina que lo hace desde abajo. La primera caja de viento es alimentada por un soplante de aire para asegurar que, tanto la transferencia de la ignición desde la capa de ignición al lecho es buena, como que su permeabilidad es correcta al actuar esta caja de viento como un indicador de esa permeabilidad. La segunda soplante insufla aire fresco a las cinco siguientes cajas de viento y suministra la mayor proporción de volumen de sinterización. La tercera soplante recircula gas caliente con un

2,0 por 100 de SO<sub>2</sub> desde el final de la máquina y desde la zona de la ignición.

Los volúmenes que se indican están medidos en condiciones normales y representan el mínimo necesario para la sinterización.

Cálculos basados en 500 m<sup>3</sup>/t indican que la máquina puede llegar a una capacidad de tratamiento de 185 t de mezcla de sínter seco por hora, que con un 4,5 por 100 de azufre, en forma de sulfuro, da un gas con más del 7 por 100 de SO<sub>2</sub>.

Con respecto a la composición de los sinterizados se dan distintos valores para diferentes plantas en la Tabla II.

Hay que tener en cuenta que las anteriores composiciones son variables en función de las políticas de suministro que cada planta sigue. Sin embargo, hay algunas limitaciones importantes que si no se tienen en cuenta pueden afectar a la marcha de los hornos. Por ejemplo, hay una estrecha relación entre contenido de plomo y sílice y resistencia del sinterizado. No obstante, sobre este y otros importantes aspectos del problema se hace mención en la Parte II de este trabajo.