

Finalmente, si en algunos cobres mixtos de alto contenido de caliza estos métodos fallan, se pueden también aplicar a ellos el proceso de segregación.

**Proceso L. P. F.:** Un esquema general del proceso LPF se puede apreciar en la Fig. 73. Pese a que este esquema puede variar de una planta a otra, el diagrama de flujo que vamos a discutir es el más completo, de modo que otras soluciones serían más simples y representarían sólo una parte de éste.

**DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROCESO LPF**

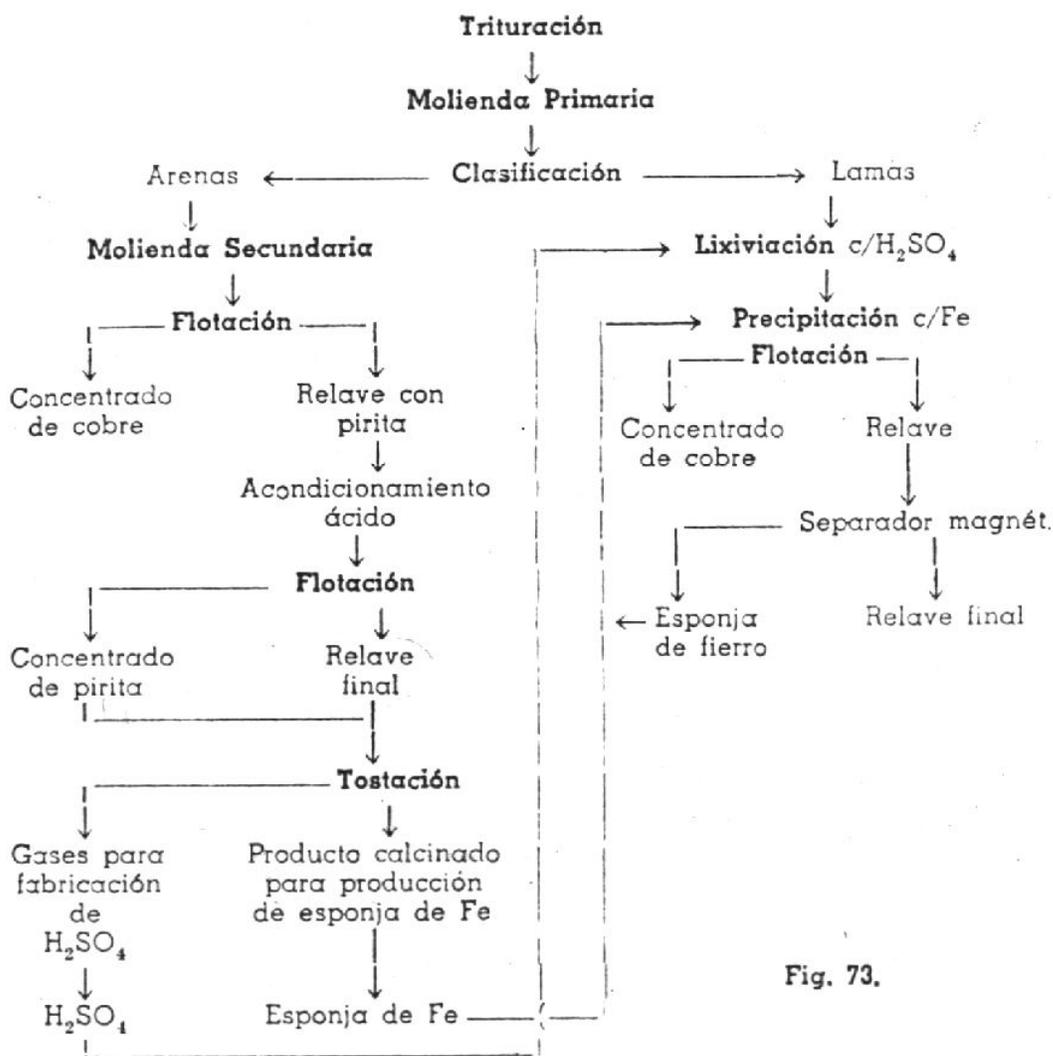


Fig. 73.

El mineral crudo, que contiene un alto porcentaje de óxidos y que está normalmente bastante descompuesto, se tritura en dos o tres etapas y se envía al circuito primario de la planta de mo-

lienda. Después de esta etapa ya los óxidos están generalmente finamente molidos y en su mayor parte se encuentran en el producto lamoso. Los sulfuros de cobre y la pirita, que son más duros, quedan poco liberados y se encuentran en el producto arenoso.

Al clasificar el mineral en lamas y arenas, las últimas van a contener la mayor parte de los sulfuros con un pequeño porcentaje de óxidos y las primeras, los sulfuros ya liberados y la mayor parte de los óxidos. Como los dos productos son metalúrgicamente distintos, se procede en seguida a su tratamiento separado.

Las arenas siguen el tratamiento convencional para los sulfuros de cobre, o sea, se muelen en un circuito secundario hasta la liberación y se flotan en un medio alcalino de pH 11,5 con xantatos y aceite de pino, para recuperar el cobre y deprimir la pirita. El concentrado primario de cobre, pasa por una limpieza, antes de ser enviado a la fundición. Las recuperaciones de cobre en este circuito, debido a la poca oxidación de los sulfuros, son del orden de 90%.

Los relaves, que contienen la pirita, se acidifican con ácido sulfúrico, para llegar a un pH 4-4,5 y, con una pequeña cantidad de colector o sin él, se flotan, obteniéndose un concentrado de pirita que, después de varios repases, alcanza un grado de pureza de un 85-90%. Esta pirita sirve como materia prima para la producción de ácido sulfúrico y esponja de hierro, que se consumen en el proceso. La manera más moderna de producirlos consiste en tostar la pirita en un sistema fluosólido obteniéndose un  $\text{SO}_2$  de alta concentración que se envía a la planta de contacto, para la producción de ácido sulfúrico y el producto calcinado, que se reduce con carbón o un gas reductor, en un sistema contra-corriente y que se enfría sin permitir que entre en contacto con el aire. La esponja de hierro cruda, se concentra luego por sucesivas separaciones magnéticas.

Las lamas de la molienda primaria, se acondicionan con ácido sulfúrico que se agrega a razón de 4-6 kgs/ton de material seco, para obtener un pH 1,5-2 que es suficiente para que la lixiviación de las partículas finas de minerales de cobre oxidado se produzca con gran eficiencia. Se hace una lixiviación durante 15-20 minutos, dependiendo el tiempo de la naturaleza de las especies mineralógicas oxidadas y de su concentración. Durante la lixiviación las partículas de los sulfuros quedan con sus superficies limpias y activadas para la flotación.

Al término de la lixiviación el pH inicial sube aproximadamente a 3,0; para producir la precipitación del cobre iónico con esponja de hierro sin mayores pérdidas de ésta, por disolución, es recomendable subir el pH a más o menos 4,0, agregando un poco de cal. Durante la adición de la cal hay que tener cuidado para evitar la precipitación del cobre.

La pulpa de pH 4 se agita luego con esponja de hierro, que se agrega en exceso para que la precipitación se efectúe rápidamente en una máquina de flotación o en un super-agitador. La esponja de hierro precipita el cobre iónico en forma de cobre metálico, al cual se le da el nombre de cemento de cobre. El consumo aproximado de hierro es de 1,5 unidades por unidad de cemento de cobre. Según la relación estequiométrica, en realidad, serían necesarias 0,9 unidades de hierro por 1 de cobre, pero el exceso se debe al consumo de hierro tanto por el ácido sulfúrico como por los iones férricos.

El cemento de cobre es muy flotable y por esto no hay dificultades en flotarlos junto con los sulfuros. Cuando termina la precipitación, se agregan en el mismo circuito un colector tipo Minerec y un espumante, ácido cresílico, y se efectúa una flotación en medio ácido. La ley del concentrado de esta sección es más alta que la del de las arenas, pero las recuperaciones son un poco más bajas, más o menos 85-88%. Los relaves del circuito de lamas pasan por un separador magnético que recupera el exceso de esponja de hierro de la pulpa y lo devuelve a la sección de precipitación.

Las ventajas del Proceso LPF se miden en términos de las recuperaciones adicionales versus los consumos extras requeridos. Por ejemplo, un mineral de cobre mixto, que contiene un 25% de especies oxidadas, por flotación simple se recuperaría en un 70%. Con el Proceso LPF la recuperación puede subir en un 15-20%, o sea, sería del orden de un 85%. A esta ganancia en la recuperación de cobre hay que deducirle los gastos adicionales que representan el consumo de ácido sulfúrico, el costo de la esponja de hierro, las modificaciones del diagrama de flujo y la protección del circuito de lamas contra la corrosión. Se calcula, normalmente, que es suficiente recuperar 2 libras extra de cobre por tonelada de mineral tratado, para justificar estos gastos.

De un mineral que tiene 1,5% de Cu y 0,38% de Cu oxidado, sin tratamiento adicional se recuperarán más o menos 22 libras de cobre por tonelada y con el Proceso LPF 25,5 libras, por lo que el Proceso LPF queda totalmente justificado.