

Lección 5: Extracción de minerales

Resumen

Como el análisis de los sistemas digitales no siempre es fácil, se presenta un ejemplo numérico. Está diseñado para aplicaciones prácticas en la minería. Los datos y su interpretación se realizan con las opciones de adaptación a propiedades especiales; éstas consisten principalmente en el valor comercial de uno de los componentes en cuestión.

Tabla de contenidos

- Folio 2: Yacimientos minerales y extracción de metales
- Folio 3: Procesos de separación
- Folio 4: Principio de la función de separación
- Folio 5: El separador de imanes
- Folio 6: Análisis de los materiales
- Folio 7: Frecuencia de errores y SNR
- Folio 8: Interpretación de los datos
- Folio 9: Ajuste del funcionamiento real
- Folio 10: Condiciones operativas
- Folio 11: Procesos de separación en serie

Yacimientos minerales y extracción de metales

La mayoría de los metales están presentes en forma de compuestos químicos en los minerales. El contenido mineral de la roca es muy diferente. Para la extracción, la roca es troceada para separar los minerales de ella. El mineral es entonces procesado de acuerdo a sus propiedades para extraer metales.



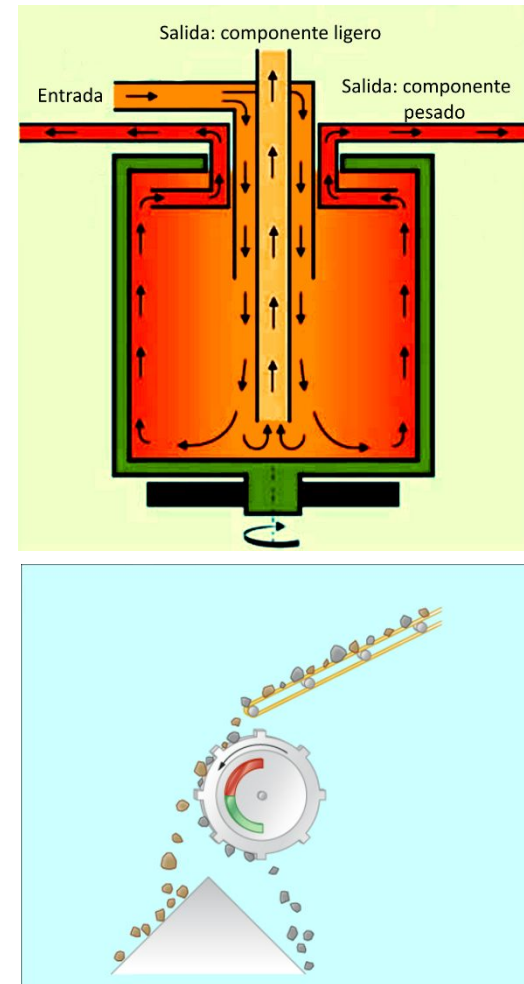
Procesos de separación

La separación de los minerales metalíferos de las rocas depende de las propiedades de los minerales.

Propiedades de los minerales	Proceso de separación
diferente densidad	centrifugación
diferente mojabilidad de la superficie	flotación
diferente tamaño de los granos	procesamiento con colador o membrana
diferente capacidad de imantación	separación mediante imanes

Principio de la función de separación

Los procesos de separación siempre funcionan según el mismo principio: un flujo de material (mixto) se introduce en el sistema (= entrada) y dos flujos de material se descargan (= salida). En estas salidas un flujo de material se enriquece con respecto al componente más valioso, el otro flujo de material se agota. La capacidad de un sistema de separación se caracteriza por el hecho de que los aditivos residuales en ambas salidas son lo más bajos posible. Las ilustraciones muestran la centrifugación para separar, por ejemplo, los isótopos pesados de los ligeros y un separador imantado para enriquecer un mineral ferroso.



El separador de imanes

Los trozos de material se transportan a un campo magnético fuerte y se descargan allí. Si el imán se encuentra debajo de la cinta transportadora, los componentes ferromagnéticos se desvían con mayor fuerza hacia la vertical. El material libre de hierro continuará su trayectoria balística. Debajo hay un divisor ajustable para separar los componentes.

La tabla lista los parámetros para analizar el sistema.

Parameter	Niveles	
	1	2
A: Tamaño granular	< 5mm	> 5mm
B: Imán	Nd-Fe-B polvo sinterizado	Nd-Fe-B polvo pegado
C: Colocación de los imanes	Patrones de polaridad 1	Patrones de polaridad 2
Factor de ajuste	Posición del divisor	

Análisis de los materiales

Los flujos de materiales de ambas salidas tienen que caracterizarse.

	Mineral	Roca
Producto de valor mineral de hierro puro	n_{00}	n_{01} Error tipo 1
Producto residual roca pura	n_{10} Error tipo 2	n_{11}

Un array ortogonal OA L4 se utiliza para 3 parámetros. Las mediciones experimentales son los resultados de análisis químico (o físico) de los materiales de ambas salidas.

Test #	A	B	C	n_{00}	n_{01}	n_{10}	n_{11}
1	1	1	1	455 g	55 g	215 g	6440 g
2	1	2	2	510 g	36 g	125 g	6010 g
3	2	1	2	390 g	59 g	118 g	5890 g
4	2	2	1	405 g	77 g	195 g	6570 g

Frecuencia de errores y SNR

Los valores experimentales deben ser convertidos en las frecuencias de error. A partir de aquí se calcula el error simétrico a través del cual se determina el índice SNR.

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(\frac{1}{p} - 1\right)\left(\frac{1}{q} - 1\right)}} \quad \rho_0 = (1 - 2 p_0)^2$$

$$SNR = 10 \log \left(\frac{\rho_0}{1 - \rho_0} \right)$$

Test #	A	B	C	p	q	p ₀	ρ ₀	SNR
1	1	1	1	0.1078	0.03231	0.05973	0.7753	5.3798
2	1	2	2	0.06593	0.02038	0.03690	0.8578	7.8062
3	2	1	2	0.1314	0.01964	0.05218	0.8022	6.0798
4	2	2	1	0.1598	0.02883	0.06987	0.7400	4.5436

Interpretación de los datos

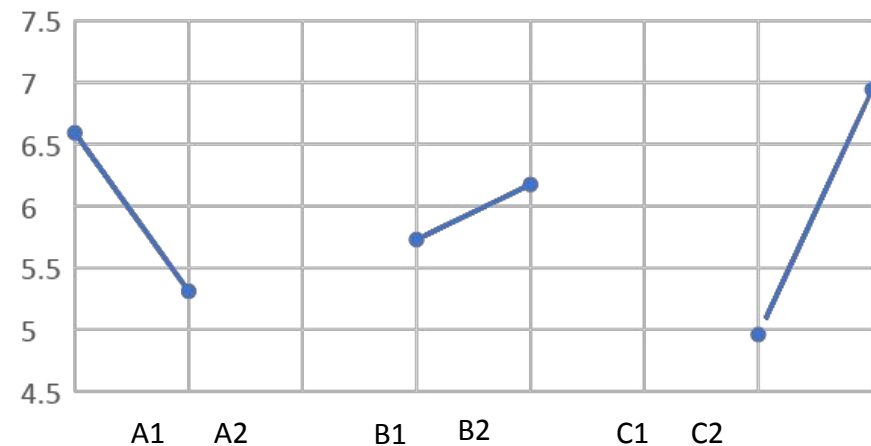
La evaluación del array ortogonal L4 proporciona los efectos de los parámetros.

Parametros	Niveles	
	1	2
A	6.5930	5.3117
B	5.7298	6.1749
C	4.9617	6.9430

La representación gráfica facilita la interpretación con la mejor configuración:

A1 + B2 + C2

SNR [dB]



Ajuste del funcionamiento real

La mejor configuración tiene que ser establecida, pero el índice de error tiene que ser ajustado desde un punto de vista comercial. Este es el trabajo del divisor. Con la posición del divisor, el error de un tipo se desplaza en desventaja del error de otro tipo. Con la idea de mantener la suma del porcentaje de los errores en ambos flujos de material lo más bajo posible, la posición debe ajustarse en este sentido. Suponiendo que la concentración de minerales en la roca es cercana al 10%, la proporción de errores se modifica en el mismo orden de magnitud.

$$p = 10q$$

$$\left(\frac{1-p_0}{p_0}\right)^2 = \frac{1-p}{p} \frac{1-q}{q}$$

$$q = \frac{\frac{11}{10} - \sqrt{\left(\frac{11}{10}\right)^2 - \frac{4}{10} \left(1 - \left(\frac{1-p_0}{p_0}\right)^2\right)}}{2 \left(1 - \left(\frac{1-p_0}{p_0}\right)^2\right)}$$

Condiciones operativas

La frecuencia del error de tipo 2 se calcula a partir del error simétrico del mejor ajuste posible con $A1 + B2 + C2$.

$$p_0 = 0.03690$$

$$q = 0.01134$$

$$p = 0.1134$$

El resultado operativo es aproximadamente igual a las fracciones de masa clasificadas con ambos errores. Esto implica que en la clasificación del flujo de minerales quedan alrededor de 62g de roca y en la clasificación del flujo de rocas un resto de 69g de minerales.

Separador imán		Salida		Total
Entrada		Mineral	Roca	
	Mineral	484 g	62 g $p = 0.1134$	546 g
	Roca	69 g $q = 0.01134$	6066 g	6135 g

Procesos de separación en serie

Cuando se trata materia prima que contiene un componente valioso y se utiliza un proceso de separación con baja eficiencia, las plantas de separación también pueden conectarse en serie para un mayor enriquecimiento del componente valioso y al mismo tiempo un mayor agotamiento del valioso elemento en los residuos. Esta situación puede aparecer con componentes que sólo se diferencian ligeramente (los elementos del grupo tierras raras). Aquí, la salida de una planta con el producto enriquecido es alimentada como entrada a la siguiente etapa de separación superior. La corriente de residuos se recircula y se alimenta de nuevo a la entrada de la etapa anterior. La conexión en serie de varias unidades de separación también se denomina cascada. La eficiencia de separación del proceso hay que ajustarla en consecuencia, de modo que en determinadas circunstancias también puede ser apropiado volver a cada segunda etapa.

