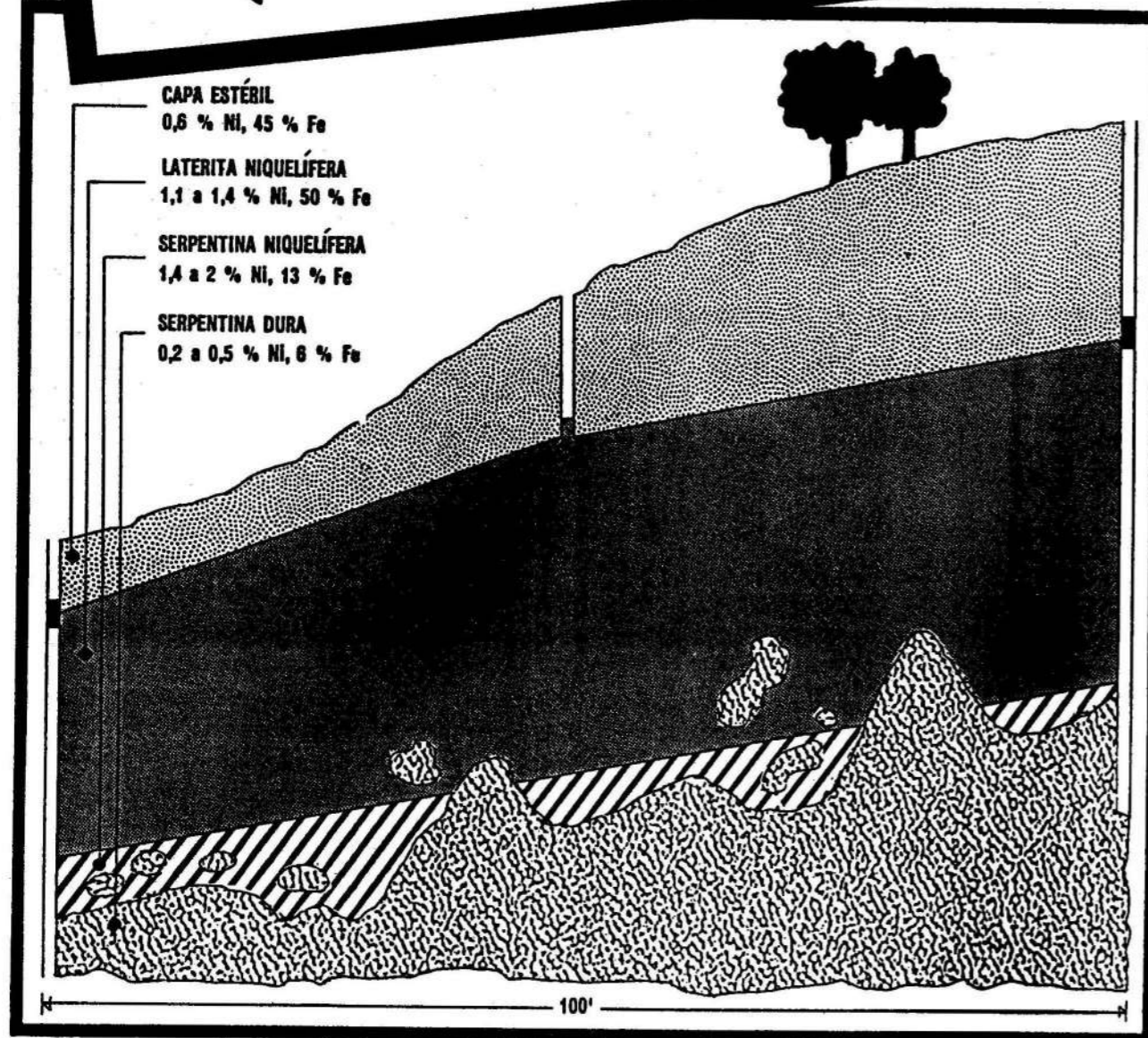


MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL PROCESO DE SEPARACIÓN DE NÍQUEL Y COBALTO

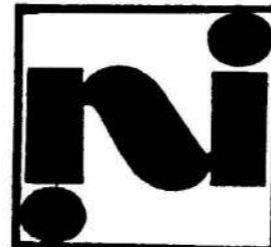
Dr. Antonio Muñoz Moner
Ing. Daniel Guzmán del Río
Ing. Angel O. Columbié Navarro

Departamento de Electromecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Nuestro tesoro natural
puede llegar a ti



CUBANÍQUEL



RESUMEN:

El trabajo muestra los resultados logrados en el campo de la modelación matemática del proceso de separación de níquel y cobalto. Se exponen los modelos tomados para los dos principales agregados en que ocurre el proceso, llegándose a un sistema de ecuaciones que describe su comportamiento.

La posibilidad de ser aplicada en diferentes secciones del complejo sistema investigado, constituye una peculiaridad característica y una ventaja en la descripción matemática del proceso de separación de níquel y cobalto. Para la conformación del modelo de este proceso se utilizan tanto datos experimentales como dependencias teóricas, se incluyen también las características estáticas, ecuaciones del balance material, energético, de equilibrio y de la cinética del proceso; y dinámicas, ecuaciones diferenciales de enlace entre las principales variables en presencia de variaciones en el tiempo y en el espacio, además de las condiciones de frontera del proceso investigado.

Los modelos típicos se seleccionan en dependencia de la estructura de los flujos en la instalación donde se realiza el proceso. En este caso, para el reactor tubular, es conveniente utilizar un modelo difusivo uniparamétrico basado en el modelo de desplazamiento total con mezclado de flujo en dirección axial y la ocurrencia de las reacciones químicas de precipitación de sulfuros. Los coeficientes de mezclado axial D_L y de las velocidades de las reacciones químicas, constituyen los parámetros fundamentales que caracterizan el modelo. Para el sedimentador es seleccionado un modelo matemático constituido por ecuaciones de movimiento de las partículas en caída libre y en presencia de la resistencia de Stocks, las cuales se obtienen a partir del balance de tres fuerzas, la gravitacional, la de Arquímedes y la resistencia de Stocks.

Luego de seleccionados los modelos asumidos del sistema y las consideraciones para la simplificación de los esquemas y la solución de las ecuaciones diferenciales conformadas, se elaboró un algoritmo de modelación determinado para la simulación en la computadora. La siguiente etapa de modelación con ayuda de la misma, consistió en la comprobación de la adecuación del modelo seleccionado al proceso investigado. La tendencia a operar con una descripción matemática bastante sencilla lleva a la necesidad de utilizar datos aproximados sobre las magnitudes de los distintos parámetros del modelo, lo que también obliga

ABSTRACT:

The present work shows the results achieved in the field of the mathematical modeling of the nickel and cobalt separation process. The model chosen for the two principal installations in which occurs the process are exposed, arriving to an equation system that describes its behavior.

a realizar una valoración cuantitativa de la adecuación o exactitud del mismo.

Modelo matemático del proceso en el reactor tubular

Para la conformación del modelo matemático del proceso en el reactor tubular se utilizaron las representaciones teóricas existentes acerca de este proceso desarrolladas en otros trabajos.

Para el reactor tubular continuo en régimen no estacionario, es válida la siguiente relación:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\omega \frac{\partial C_i}{\partial L} + D_L \frac{\partial^2 C_i}{\partial L^2}; \quad 0 \leq L \leq L \quad \forall t \geq 0 \quad (1)$$

donde:

C_i : concentración de cobalto en la solución de entrada al reactor, f.p.u.

ω : velocidad del flujo de solución (m/s).

L : longitud del reactor (m).

D_L : coeficiente de difusión axial (m²/s).

t : tiempo (s).

Para considerar la influencia de las reacciones químicas en la transferencia de masa, es necesario añadir a la ecuación (1) un sumando que describa la velocidad de variación de la cantidad de componente i en la solución a consecuencia de las transformaciones químicas, resultando:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\omega \frac{\partial C_i}{\partial L} + D_L \frac{\partial^2 C_i}{\partial L^2} - K_i C_i^\alpha C_{NH_4HS}^\beta - K_j C_i^\gamma C_{sem}^\delta \quad (2)$$

donde α , β , γ , y δ son coeficientes que caracterizan el orden de la reacción; los subíndices i y j corresponden a las reacciones con el reactivo y la semilla respectivamente; K_i y K_j son los coeficientes de velocidad de las reacciones químicas; C_{NH_4HS} es la concentración de reactivo, C_{sem} es la concentración de semillas en f.p.u.

La constante de velocidad de la reacción está más estrechamente ligada a la temperatura. Esta dependencia puede ser descrita por la ecuación de Arrhenius:

$$K(\theta) = A_e \frac{R}{T^p}$$

donde:

A: factor pre-exponencial que da la posibilidad de considerar la superficie activa de precipitación.

E: energía de activación que determina la zona donde ocurre la reacción clásica e indica el grado de dependencia de la reacción de la temperatura.

Para la conformación de la ecuación (2) se tomó como consideración que todas las características físicas y químicas de la solución y los flujos varían sólo a lo largo del eje del reactor tubular.

Como la temperatura de las soluciones en el reactor tubular casi no varía en el tiempo y a lo largo del reactor, entonces no existe necesidad de plantear la ecuación del balance térmico.

Modelo matemático del proceso en el sedimentador

La descripción del proceso de sedimentación se obtiene sobre la base de la ecuación de conservación de la masa y el balance de las tres fuerzas antes mencionadas, aplicadas a las partículas en caída libre en medio polidisperso de donde se pueden obtener las siguientes relaciones:

$$m\gamma = G(l', x, t) = G_{inic}(x - vt, l') + \int_0^t f[l', x - (t - \tau)v, \tau] 1(t - \tau) d\tau = G_{inic}(x - vt, l') + \int_0^t f[l', x - (t - \tau)v, \tau] d\tau$$

donde:

$G_{inic}(x, l')$ es la distribución inicial de las partículas de los sulfuros de níquel y cobalto precipitados en el sedimentador; $t=0$, $1(t-\tau)$ es la función escalón unitario o de Heaviside desplazada en el tiempo; f es la función que describe el suministro al sedimentador de la pulpa proveniente de la salida de los reactores y es igual a:

$$Q_v(x, t) m_{inic}(x, t) \gamma_{inic}(l', t)$$

donde Q_v es el volumen total del concentrado de sulfuro de níquel y cobalto en la solución carbonato amoniacal, dada en la unidad de tiempo y de volumen en el punto (x, t) , 1/s; $m_{inic}(x, t)$ es la porción volumétrica inicial de sulfuro de níquel y cobalto en la pulpa sedimentada; $v_{inic}(x, t)$ es la característica diferencial inicial granulométrica del concentrado de sulfuro de níquel y cobalto.

La utilización práctica de la ecuación (3) se reduce a lo siguiente: si se conoce la distribución concreta inicial $v_{inic}(x, t)$ en el espacio vertical del sedimentador en el momento inicial $t=0$, la función de la fuente $f(l', x, t)$ válida para $t > t_0$, y la velocidad de la solución

V_s , sustituyendo en las funciones $v_{inic}(l', x)$ y $f(l', x, t)$ la coordenada x por la diferencia $x - vt$ y $x - (t - \tau)v$ y se sustituye en la ecuación de conservación de la masa, se obtiene la función $m\gamma = G(l', x, t)$ que predice la redistribución en el tiempo y espacio de las partículas de sulfuro de níquel y cobalto de todas las clases en el sedimentador.

A partir de $\gamma(l', x, t)$ puede calcularse por separado:

$$m(x, t) = \int_0^{l'} G(l', x, t) dl' \quad (4)$$

$$\gamma(l', x, t) = G(l', x, t) / m(x, t) \quad (5)$$

La zona de trabajo del sedimentador está limitada por las coordenadas $0 < x < X_{fondo}$, en la zona baja $x = X_{fondo}$ y en la alta $x = 0$. Entonces las características totales del producto se pueden obtener de la siguiente forma:

$$V_{inf}(t) = S \int_{X_{fondo}}^{\infty} m(x, t) dx \quad (6)$$

$$Q_{inf}(t) = d V_{inf} / dt$$

$$g_{inf}(l', t) = g(l', t, X_{fondo}) \quad (7)$$

donde:

$V_{inf}(t)$: volumen total de sedimento de sulfuros de níquel y cobalto acumulado en el producto bajo (semilla), al momento de tiempo t , m^3 ;

S : sección transversal del sedimentador, m^2 ;

$Q_{inf}(t)$: productividad volumétrica por el sólido en el producto bajo, m^3/s ;

$g_{inf}(l', t)$: característica granulométrica de la semilla en el momento dado.

Con una fórmula análoga se describe la característica de la solución del producto en la zona superior, V_{sup} , Q_{sup} , $v_{sup}(l', t)$ integrada en el tiempo y también las características de la pulpa en la zona de trabajo $0 < x < X_{fondo}$. En estas fórmulas para tener en cuenta la redilución del cobalto en el sedimentador, es necesario añadir las siguientes ecuaciones:

$$-K(l') (mg)^n \quad (8)$$

$$Co_{sol} = m_{inic} - m \quad (8a)$$

En las mismas $K(l')$ es el coeficiente de velocidad de la reacción, 1/s; Co_{sol} es la concentración del cobalto en la solución de salida del sedimentador, f.p.u.; t , tiempo, s; n , número que caracteriza el orden de la reacción.

Para escribir la ecuación (8a) se tomó en consideración que la concentración de oxígeno disuelto cambia muy lentamente (es casi constante y está incluida en el coeficiente $k(l')$).

CONCLUSIONES

En el trabajo se logra un modelo matemático que expone las principales relaciones de parámetros que intervienen en el proceso de separación de níquel y cobalto, expresándose éstas a través de las ecuaciones

para el balance de masa, en el reactor tubular y el sedimentador, lo que permite luego de su identificación, el planteamiento de la tarea de síntesis para el control y regulación automática del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

MUÑOZ MONER, A.: "Algoritmos y sistemas de regulación del proceso de separación de cobalto", Tesis doctoral, CICT-ISMM Moa, 268 pp., 1991.



ESPERAMOS TU VISITA