

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL RÉGIMEN DE TEMPERATURA EN EL SECADO DEL MINERAL LATERÍTICO

Analysis of the temperature regime influence on lateritic mineral drying

Enrique Torres Tamayo
Rafael Galano Milhet
Elis Efraín Guzmán

E-mail: etorrest@ismm.edu.cu
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Dr. Antonio Núñez Jiménez

RESUMEN

En las empresas cubanas del níquel con tecnología carbonato amoniacal (CAROM), el proceso de secado no logra los valores óptimos de humedad que garantizan la molienda. En este trabajo se determina la influencia de la humedad de equilibrio, la constante de secado y el coeficiente de transferencia de masa, durante el secado del mineral laterítico a escala de laboratorio. Se obtiene la correlación y regresión de las variables antes mencionadas en función de la temperatura y el contenido de humedad del mineral. Se confirmó experimentalmente que para un rango de temperatura entre 80 y 120 °C, la de humedad de equilibrio del mineral laterítico se encuentra entre 0,0217 y 0,039 g/g, la constante de secado entre 0,0198 y 0,0077 1/min., y el coeficiente de transferencia de masa entre 0,0044 y 0,0116 g / m².min. Se concluye que el exceso de humedad en el mineral que sale de los secadores no está relacionado con el régimen de temperatura usado en el proceso.

PALABRAS CLAVE: Secado, humedad de equilibrio, transferencia de calor y masa, mineral laterítico, proceso CAROM.

ABSTRACT

In the Cuban nickel enterprises which use carbonate ammoniacal technology (CAROM) the drying process do not reach the optimal humidity figures that assure the milling process. In this work it is determined the

influence of the equilibrium humidity, constant of drying and coefficient of mass transfer during the drying from the mineral lateritic to laboratory scale. It is obtained the correlation and regression of the variables before mentioned in function of the temperature and the content of humidity of the mineral. It is confirmed experimentally that for a range of temperature between 80 and 120 °C the constant of equilibrium humidity of the lateritic mineral is between 0,0217 and 0,039 g/g, the drying constant, between 0,0198 y 0,0077 1/min and the mass transfer coefficient, between 0,0044 and 0,0116 g / m².min. Concluded is that excess of humidity observed at dryers output is not related with the temperature regime using in the process.

KEY WORDS: Drying, equilibrium humidity, transfer of heat and mass, lateritic mineral, CAROM process.

INTRODUCCIÓN

El proceso de secado se puede analizar como un proceso termofísico y físico - químico, en el cual se produce el intercambio de calor y de humedad entre la superficie del material que se somete al secado y el medio gaseoso que lo rodea, cuando se produce el intercambio de calor y de humedad en el interior del material. El proceso dado ocurre como consecuencia de la diferencia de las presiones de vapor de agua en el medio y en la superficie del material, y también debido a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y el interior del material.

Este proceso ocurre de la manera siguiente: bajo la acción del calor, en la superficie del material se forma una película de vapor de agua; si la presión de este vapor es mayor que la presión del vapor de agua en el medio circundante, entonces se produce la difusión del vapor hacia el medio y la humedad es eliminada de la superficie del material. Durante este proceso, la humedad del material sobre la superficie disminuye y en el interior de éste surge una diferencia de humedad DX , que recibe el nombre de gradiente de humedad. Este gradiente constituye el indicador de la velocidad de movimiento de la humedad en el material.

La velocidad de movimiento del flujo del agente desecante y su humedad no inciden sobre la velocidad de secado; sólo lo hacen en grado considerable las propiedades del material sometido a un secado ligero y, principalmente, de la resistencia a la difusión en el traslado del vapor de agua desde las capas interiores hacia la superficie del material. Muchos factores influyen sobre el resultado del secado: la naturaleza del material, su estructura, composición química, carácter del enlace con la humedad, grosor (dimensiones de los trozos y composición granulométrica) y cantidad de humedad del material sometido al tratamiento. Ejercen una considerable influencia sobre el secado: la temperatura, la humedad y la velocidad del flujo del agregado desecante, además de las condiciones que circundan el material. El aumento de la velocidad de movimiento acorta la duración del proceso de desecación y con la subida de la temperatura disminuye la duración del mismo. Mientras mayor tamaño presenten los trozos del material, tanto mayor duración tendrá el desecado.

La determinación de la humedad de equilibrio, la constante de secado y el coeficiente de transferencia de masa, tiene importancia en la modelación del proceso de secado, lo que permite una mejor proyección y selección de los parámetros racionales de trabajo de los equipos. Varios autores han estudiado el proceso de secado, fundamentalmente para materiales como la zeolita, el bagazo y la sacarina. Dentro de ellos se destacan los trabajos realizados por Novoa y Meinardo (1992, 1994, 1995), quienes diseñan un equipo para el secado de zeolita en la provincia Santiago de Cuba. No menos importantes son los trabajos de Murugesan & Seetharamu (1996), los cuales hacen un análisis convectivo del secado de materiales porosos a partir de los modos de transferencia de calor y transferencia de masa presentes en el proceso.

Relacionado con el mineral laterítico existen pocos trabajos encaminados a lograr mayor eficiencia en el proceso de secado de este material, dentro de

ellos se destaca el desarrollado por Miranda y otros (1996), en el que se realiza una comparación y conjugación de métodos para determinar el contenido de humedad inicial en las distintas menas de los yacimientos lateríticos, y se aplica el método de reflexión neutrónica. En los trabajos anteriores, aunque se establecen métodos de carácter general aplicables a algunos materiales, ninguno se adapta al estudio del secado del mineral laterítico.

En el estudio desarrollado por Torres (1999), a partir de las variables más importantes involucradas en el proceso de secado, se establecen los valores óptimos de los parámetros temperatura, contenido de humedad y velocidad de los gases en el interior del cilindro. La deficiencia fundamental de este trabajo es que se realizó a escala industrial, por lo cual no se pudo obtener un modelo físico – matemático que caracterice el proceso.

Actualmente, en las industrias del níquel con tecnología CAROM el producto final del proceso de secado supera los valores de humedad establecidos, lo cual perjudica el proceso posterior de molienda. El objetivo de este trabajo es determinar el comportamiento de la humedad de equilibrio, la constante de secado y el coeficiente de transferencia de masa durante el secado del mineral laterítico, a escala de laboratorio, con el fin de encontrar las causas que originan esta problemática. Estos parámetros se escogieron tomando en cuenta su importancia en la modelación matemática del proceso y en la evaluación, cálculo y diseño de prototipos de secadores. No se analizó la influencia del contenido inicial de humedad, debido a que se ha comprobado que su influencia no es significativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la investigación se empleó mineral laterítico previamente homogenizado y triturado, tomado a la entrada de los secadores. La humedad de entrada del mineral, según proyecto, debe ser del 36 %, y la granulometría debe comportarse aproximadamente como se muestra en la tabla 1.

Los experimentos se realizaron en el laboratorio central de la empresa niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara y los equipos que se utilizaron en los experimentos fueron los siguientes:

- Balanza analítica de precisión hasta la cuarta cifra decimal.
- Desecadoras.
- Estufa.
- Pesafiltros con sus tapas.

Clase de tamaño	% en peso	Clase de tamaño	% en peso
+101,6	0,3	+1,4	2,7
+50,8	0,6	+0,83	5,2
+38,1	0,6	+0,417	3,8
+25,4	0,7	+0,246	3,9
+19,05	0,5	+0,149	2,6
+1,7	0,6	+0,074	11,3
+6,35	2,7	-0,074	62,2
+3,36	2,3	No existe	No existe

- Crisoles con sus tapas.
- Beaker.
- Pipeta.
- Espátula.
- Termómetro de bulbo húmedo y bulbo seco.

Técnica experimental

1. Se seca una determinada cantidad de mineral por un tiempo de 24 h a una temperatura de 150°C.
2. Se toman pequeñas muestras de mineral seco en diferentes crisoles previamente tarados, se les añade una cierta cantidad de agua calculada de acuerdo con el diseño experimental, y se obtienen así diferentes humedades iniciales base seca; seguidamente, se toman los pesos iniciales de cada uno de ellos.
3. Los crisoles destapados se introducen en la estufa a una temperatura determinada de acuerdo con el experimento que se realiza y por espacio de un determinado tiempo.
4. Una vez consumido el tiempo fijado se extrae el crisol y se introduce en una desecadora, hasta que alcance la temperatura ambiente.
5. Posteriormente, se colocan las muestras sobre una balanza analítica y se toman los pesos a la temperatura ambiente. Por diferencia de peso se determina la humedad correspondiente a ese tiempo, luego se repiten los puntos 3, 4, 5, y así sucesivamente hasta obtener, por último, la humedad de equilibrio dinámico.

Diseño de los experimentos

Los experimentos se efectuaron para tres valores de temperatura con un contenido de humedad inicial del 38 % base húmeda. Para cada experimento se realizaron cinco réplicas. La matriz de este diseño de experimento se muestra en la tabla 2.

El estudio de la cinética del secado del mineral se basa en considerar que la curva de secado se ajusta

EXP.	T, °C	Xo, g/g
1	120	0,614
2	100	0,614
3	80	0,614

T - temperatura en el interior de la estufa
 Xo - Contenido de humedad inicial del mineral.

con buena aproximación a la ecuación (1), para todo el tiempo en que el material formado por una capa fina se someta al secado, hasta alcanzar la humedad final o de equilibrio dinámico (X_e).

$$X_i = X_e + (X_o - X_e) * e^{-K*T} \quad (1)$$

Sustituyendo $Ln \frac{X_i - X_e}{X_o - X_e} = -K*T$

Donde:

- X_i - Contenido de humedad en función del tiempo
- X_e - Contenido de humedad de equilibrio, g/g.
- X_o - Contenido de humedad inicial del material, g/g.
- K - Constante de secado, 1/min.
- T - Tiempo, min.

Es decir, que al llevar a un gráfico el

vs T, se obtiene una curva que muestra los diferentes períodos de secado, cuyas pendientes serán los valores de la constante de secado (K). Este comportamiento ha sido comprobado en trabajos previos (Novoa y Meinardo, 1994, 1995), donde se realiza la modelación matemática del secado de zeolita a escala de laboratorio para la proyección y selección de estos tipos de secadores.

Las curvas de secado se obtuvieron a partir de los datos experimentales de contenido de humedad en función del tiempo, para ello se utilizó el programa profesional Microcal Origin. El ajuste de curva se realizó mediante la ecuación (1). A partir de los valores de la constante de secado y humedad de equilibrio se estimaron los coeficientes (kg) de transferencia de masa de acuerdo con la ecuación (2), referida a un kg de mineral laterítico seco (m_s) y un m² de área de secado (A).

$$(2)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados experimentales (Tabla 3) muestran que a los 350 min. se alcanza la humedad de equilibrio. Para cada valor de temperatura estudiado se obtuvieron las ecuaciones que rigen el proceso de secado para un coeficiente de correlación de 0,8 (Figs. 1, 2 y 3):

$$X_i = 0,0217 + 0,5923e^{-0,0196t} \quad \text{para la temperatura de } 120 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$X_i = 0,027 + 0,587e^{-0,0129t} \quad \text{para la temperatura de } 100 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$X_i = 0,039 + 0,575e^{-0,0077t} \quad \text{para la temperatura de } 80 \text{ }^\circ\text{C} \quad (5)$$

TABLA 3

Tiempo (min.)	X _{i med.} Temp. 120 °C	X _{i med.} Temp. 100 °C	X _{i med.} Temp. 80 °C
0	0,614	0,614	0,614
15	0,42	0,55	0,558
30	0,366	0,497	0,53
60	0,161	0,351	0,405
90	0,11	0,178	0,332
120	0,096	0,103	0,226
150	0,059	0,059	0,182
190	0,058	0,059	0,1611
220	0,05	0,045	0,1027
250	0,028	0,031	0,0633
290	0,026	0,034	0,054
320	0,0218	0,029	0,0456
350	0,0217	0,027	0,039
375	0,0217	0,027	0,039
380	0,0217	0,027	0,039

X_{i med} - Contenido de humedad

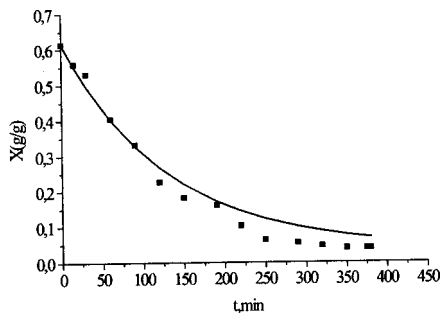


Figura 1

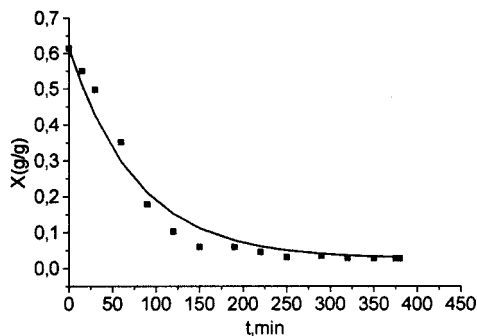


Figura 2

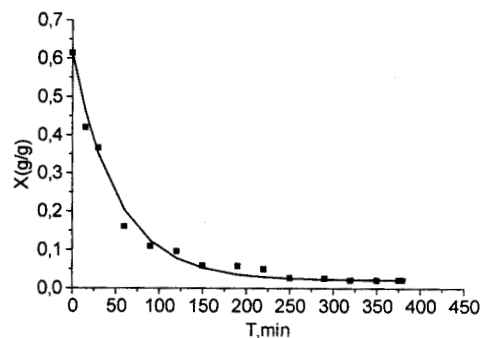


Figura 3

TABLA 4

Exp.	Condiciones iniciales		Humedad de equilibrio	Constante de secado	Coef. de Transf. de masa
	T (°C)	X _o (g/g)	X _e (g/g)	K (1/min.)	K _g (g/m ² min.)
1	120	0,614	0,0217	0,01958	11,6
2	100	0,614	0,027	0,0129	7,6
3	80	0,614	0,039	0,0077	4,4

Se observa una tendencia al aumento de los valores de X_e con la disminución de la temperatura (Tabla 4), el mayor valor es de 0,039 g/g y se obtiene a la temperatura de 80 °C. Es importante señalar que este valor es menor que el valor exigido (0,045 g/g) por diseño en el proceso de secado del mineral laterítico de las empresas del níquel para garantizar el proceso posterior de molienda. Por su parte, los valores de la constante de secado y el coeficiente de transferencia de masa también muestran una tendencia a aumentar con la temperatura, este último varía entre 4,4 y 11,6 g/m².min., según el régimen de temperatura en que se trabaje. Estos resultados demuestran que el exceso de humedad observado en el mineral que sale del proceso de secado no está relacionado con los regímenes de temperatura en que ocurre el proceso, sino con otros factores que aún no se han establecido. Con los resultados de humedad de equilibrio y coeficiente de transferencia de masa es posible realizar la modelación matemática y simulación del proceso de secado del mineral laterítico, para lo cual es necesario aplicar criterios de semejanzas e incluir, a partir del diseño experimental adecuado, todas las variables que intervienen en el proceso y de esta forma llegar a la causa del exceso de humedad.

CONCLUSIONES

1. Se verifica experimentalmente que el contenido de humedad de equilibrio del mineral laterítico para un rango de temperatura entre 80 y 120 °C se encuentra entre 0,039 y 0,0217 g/g.
2. La constante de secado alcanza valores entre 0,0198 y 0,0077 1/min. para el régimen de temperatura 80-120 °C.
3. El coeficiente de transferencia de masa aumenta con la temperatura, y para el rango analizado varía entre 4,4 y 11,6 g/m².min.
4. El exceso de humedad en el mineral que sale de los secadores no tiene su causa en el régimen de temperatura usado en este proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Microcal Origin (versión 3.5). Microcal software, Inc. One Round house plaza Northampton, MA 01060. USA, 1994.
- MIRANDA, J. L., G. A. ÁLVAREZ, J. R. MIRANDA, L. F. DESDÍN Y J. MENDOZA: "Comparación y conjugación de métodos de determinación de humedad en la industria del níquel", *Minería y Geología* 13 (2) :42 – 47, 1996.
- MURUGESAN, K. & K. N. SEETHARAMU: "A one dimensional analysis of convective drying of porous materials", *Heat and Mass transfer*. 32 :81 – 88, 1996.
- NOVOA, R. C. Y MEINARDO B. J.: "Secado de zeolita a escala de laboratorio (I)", *Tecnología Química* 3:34 – 39, 1992.
- : "Secado de zeolita a escala de laboratorio (II)", *Tecnología Química* 1:37 – 32, 1994.
- : "Secado de zeolita a escala de laboratorio (III)", *Tecnología Química* 1:24-29, 1995.
- TORRES, E.: "Investigación del arrastre de partículas en los gases durante el secado del mineral laterítico en tambores cilíndricos rotatorios" (Tesis de Maestría), Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Departamento de Mecánica, 1999.