

Comportamiento de la adherencia en menas lateríticas sometidas a secado solar natural

Yoalbys Retirado Mediaceja¹
Ever Góngora Leyva¹
Enrique Torres Tamayo¹
Naísma Hernández Jatib¹

yretirado@ismm.edu.cu
egongora@ismm.edu.cu
etorrest@ismm.edu.cu
nhjatib@ismm.edu.cu

Resumen

El alto contenido de humedad de la mena laterítica provoca su adherencia a las paredes de las tolvas donde es almacenada y, por consiguiente, disminuye la cantidad alimentada a los secaderos e incrementa el consumo de combustible durante el secado térmico en los tambores rotarios. Para evaluar el comportamiento de la adherencia en menas sometidas a secado solar natural se estudiaron experimentalmente dos pilas expuestas a condiciones ambientales naturales. Los experimentos consistieron en verter (para valores conocidos de humedad) 300 g de mena desde una altura de 0,5 m sobre una placa de cristal con distinta inclinación (20 y 25 grados). Se tamizaron las muestras de una de las pilas para evaluar la influencia de la granulometría sobre la adherencia. Se encontró que la adherencia de la mena no está determinada solamente por el contenido de humedad, sino además por su granulometría y por el ángulo de inclinación de la superficie de contacto. El menor porcentaje de adherencia para granulometría heterogénea se obtuvo para valores de humedad igual o inferior a 32%. También se evidenció que para contenido de humedad igual a 35% o mayor, el ángulo de inclinación de la superficie de contacto con la mena no influye notablemente en la adherencia cuando la mena es previamente tamizada.

Palabras clave

Secado solar, humedad, adherencia, lateritas.

Adherence behaviour of lateritic ores submitted to natural solar drying

Abstract

The moisture of the lateritic ore causes its adherence to the walls of the chutes where it is stored, and consequently, it diminishes the quantity fed to the dry and it increases the consumption of fuel during the thermal drying in the rotators drums. To evaluate the behavior of the adherence in ores subjected to solar drying, two piles exposed to natural conditions were experimentally studied. The experiments consisted on pouring (for well-known values of humidity) 300 g of ore from a height of 0,5 m on a glass badge with different inclination (20 and 25 grades). The samples of one of the piles were sifted to evaluate the influence of the grain on the adherence. It was found that the adherence of the ore does not depend only of the moisture content, but also of its grain and the angle of inclination of the contact surface. The smallest percentage of adherence for heterogeneous grain was obtained for 32% of moisture. It was also evidenced that for 35% of moisture or more, the angle of inclination of the contact surface doesn't influence notably in the adherence when the ore is previously sifted.

Key words

Solar drying, moisture, adherence, laterites.

INTRODUCCIÓN

La adherencia se entiende como la capacidad que poseen los materiales para adherirse a las superficies de los medios en que son trasladados o almacenados. Ocurre cuando las fuerzas de cohesión entre las partículas de la capa superficial del material y la superficie del medio de transporte o almacenamiento son superiores a las fuerzas de cohesión entre las partículas del material (Oriol y Aguilar, 1988). Depende, fundamentalmente, de las características del material (si es más o menos arcilloso) y de su contenido de humedad.

Las menas lateríticas que se procesan en las empresas niqueleras cubanas de tecnología carbonato-amoniaco llegan a los secaderos con un contenido de humedad que oscila entre 36-42%, lo que provoca altos índices de adherencia a las paredes de las tolvas y excesivos consumos de combustible durante su secado térmico en tambores rotarios.

En los secaderos, el secado térmico de la mena se realiza a través de un proceso de transferencia de calor y masa para eliminar el agua contenida (Knoule, 1982). Para aumentar la eficiencia térmica de los cilindros rotatorios se realiza el secado solar previo con el fin de disminuir la adherencia y la formación de túneles dentro de los secaderos (Torres, 1999).

La escasez de recursos energéticos, junto a los altos precios de los combustibles y la acelerada degradación del medio ambiente, hacen que el secado solar, por sus múltiples ventajas y perspectivas, sea ampliamente aplicado a nivel mundial (Saravia *et al.*, 1990; Karathanos y Belessiotis, 1997; Esper y Mühlbaue, 1998; Ekechukwu y Norton, 1999; Hollick, 1999; Anwar y Tiwari, 2001; Echazu, 2001; Tiwari, 2002; Tunde-Akintunde *et al.*, 2005). En Cuba, su empleo se reduce a la industria de alimentos, café y madera (Fonseca *et al.*, 2000; Bériz, 2002, 2003; Fonseca *et al.*, 2003) y en menor medida, se emplea en la industria del níquel (Estenoz *et al.*, 2001; Estenoz *et al.*, 2005; Retirado, 2007).

Las publicaciones relacionadas con el secado solar (Tiris *et al.*, 1995; Mahmutoglu *et al.*, 1996; Türk, 2003; Doymaz, 2004, Gigler *et al.*, 2004; Togrul y Pehlivan, 2004; Touré y Kibangu-Hkembo, 2004; Medeiros *et al.*, 2006; Gógüs y Mascan, 2006) se limitan al estudio térmico del proceso y a la influencia de la energía solar en la desorción de la humedad. En la literatura especializada no se han detectado resultados de investigaciones referidos específicamente al estudio de la adherencia en materiales sometidos a secado solar.

En Cuba, la adherencia del material laterítico es un problema no resuelto en la industria del níquel. Este fenómeno genera la recirculación del material en las bandas transportadoras y en la cama de los camiones Volvo A35C y A40D, con la consiguiente disminución de la productividad del sistema de transporte (Sierra, 2005). Aunque Gutiérrez (2003) y Durán (2006) abordan la adherencia en los sistemas de transporte de mineral, este fenómeno no ha sido suficientemente estudiado en los sistemas de almacenamiento, encontrándose pocas referencias sobre la formación de túneles y su incidencia en el incremento del consumo de combustible en los secaderos (Torres, 1999; Castillo, 2007).

Estenoz y Espinosa (2003a) y Retirado *et al.* (2007) refieren que durante el secado solar, en la desorción de la humedad del mineral influyen factores como la masa de mena a secar, la granulometría, composición química y mineralógica, tiempo de secado y variables climatológicas (temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, radiación solar, temperatura de rocío y precipitaciones), pero no abordan la relación humedad-adherencia en las lateritas.

El objetivo de la presente investigación fue obtener, para menas lateríticas sometidas a secado solar natural, el comportamiento de la adherencia en función del contenido de humedad, la granulometría del material y la inclinación de la superficie de contacto.

MATERIAL Y MÉTODO

Para analizar el comportamiento de la adherencia, se tomaron los valores de humedad reportados por Retirado *et al.* (2007) para dos

pilas (de 100 y 50 kg) expuestas a secado solar natural. Los experimentos consistieron en verter (para cada valor de humedad) trescientos gramos de mena desde una altura de 0,5 m sobre una placa de cristal inclinada. Los ángulos de inclinación considerados fueron 20 y 25 grados. Para evaluar la influencia de la granulometría sobre la adherencia, los 50 kg de muestra de la pila 2 fueron tamizados usando una malla de 6,2 mm con el fin de eliminar los terrones de mineral de gran energía potencial y cinética. Se realizaron tres determinaciones en cada nivel de humedad para tomar un valor promedio; el porcentaje de mena adherida se calculó mediante la expresión siguiente:

$$Pma = \frac{Ma}{Mtm} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

Pma: porcentaje de mena adherida; % .

Ma: masa de mena adherida; g .

Mtm: masa total de la muestra; g .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Porcentaje de mena adherida para la pila 1

Humedad (%)	Mena adherida (%) Inclinación 20°	Mena adherida (%) Inclinación 25°
39	38,3	32,0
38	31,7	26,8
37	33,4	34,6
36	31,2	30,3
35	24,8	24,3
34	45,8	31,6
32	34,7	16,1
29	56,0	33,7
28	36,0	16,3
26	34,7	18,9

Se encontró relación entre el contenido de humedad, la inclinación de la placa y la cantidad de mena laterítica que se adquiere a la superficie de la placa. Las Tablas 1 y 2 muestran los resultados de los ensayos para las dos pilas consideradas.

En la pila 1 los valores de adherencia no cambiaron conforme a la variación de la humedad, mostrando un comportamiento aleatorio indicativo de que la cantidad de mena adherida no sólo obedece al contenido de humedad en la mena.

Los resultados muestran cierta relación entre el valor del ángulo de inclinación y la cantidad de mineral que se adhiere, excepto para la humedad de 37% donde se obtiene menor adherencia a 25° de inclinación que a 20°, lo que puede atribuirse a la heterogeneidad de la granulometría de la muestra sometida a experimentación y a las propiedades magnéticas de los elementos que la componen.

La Tabla 2 muestra pequeñas variaciones del porcentaje de mena adherida en la medida en que ocurre la desorción de la humedad. A una misma inclinación de la placa, la cantidad de mena adherida mantiene la variabilidad respecto a la humedad, mientras que en relación con el ángulo de inclinación, los mayores valores de adherencia corresponden a 20°.

Tabla 2. Porcentaje de mena adherida para la pila 2

Humedad (%)	Mena adherida (%) Inclinación 20°	Mena adherida (%) Inclinación 25°
38	91,0	70,1
36	86,3	72,4
34	86,9	78,0
33	85,4	63,4
30	85,4	66,2
29	78,8	62,9
27	80,5	22,7
25	81,7	34,8

Al comparar los resultados para ambas pilas (Tablas 1 y 2) se revela la influencia que ejerce la granulometría sobre la cantidad de mena que se adhiere. Aunque en ambos experimentos se redujo la humedad al 13%, los valores de adherencia para las muestras tamizadas aumentó considerablemente; de estos resultados se deduce la importancia que tiene el proceso de clasificación y cribado en la Planta de Preparación de Mineral y la reincorporación de los escombros al proceso productivo después de ser reducida su granulometría en el patio de homogenización y secado solar.

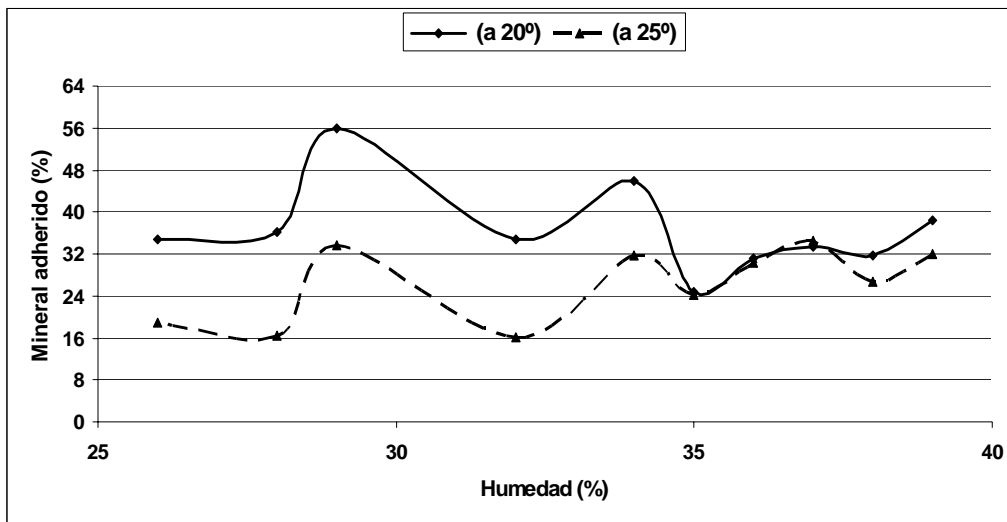


Figura 1. Comportamiento de la adherencia respecto a la humedad para la pila 1.

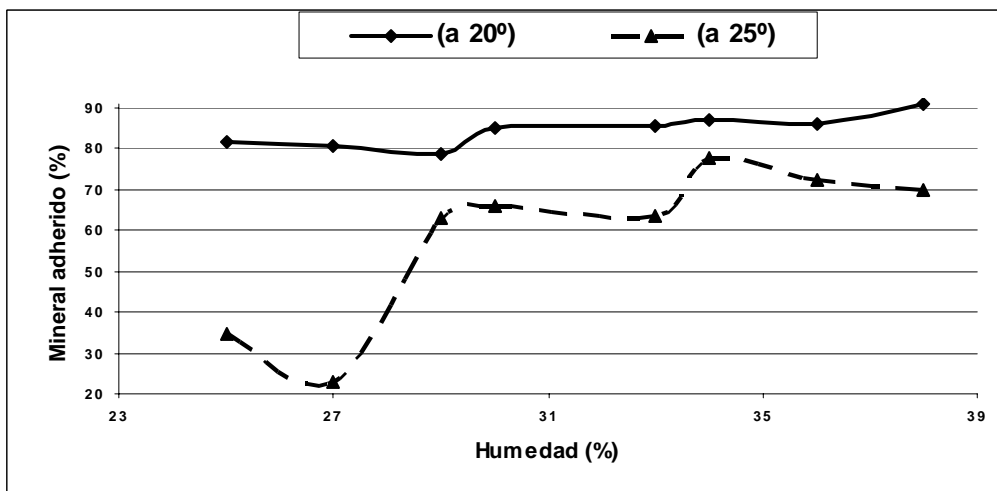


Figura 2. Comportamiento de la adherencia respecto a la humedad para la pila 2.

El comportamiento de la relación entre la adherencia, la humedad y el ángulo de inclinación se evidencian en las Figuras 1 y 2. Para valores de humedad superiores al 35%, el ángulo de inclinación de la placa no influye notablemente en la adherencia del mineral. Sin embargo, a valores de humedad inferiores a éste, se aprecia una diferencia notable en la cantidad de mena adherida; tal comportamiento puede estar asociado al aumento de la fuerza de fricción entre la placa y la mena, lo que provoca mayor retención del mineral para el menor ángulo. De lo anterior se infiere que en las muestras no tamizadas existe un valor crítico del contenido de humedad para el cual la inclinación de la superficie no influye en la cantidad de mena adherida, la cual está determinada por la fuerza de cohesión entre el mineral y la placa y las energías cinética y potencial asociadas a las menas.

Para valores de humedad inferiores a 34%, aproximadamente, la adherencia muestra un comportamiento similar para las dos inclinaciones de la superficie, siendo mayor la cantidad de mena adherida a 20° debido al aumento de la resistencia al movimiento de las partículas sobre la superficie del cristal y a la reducción de la energía cinética de las partículas.

En muestras previamente tamizadas (Figura 2) los resultados del comportamiento de la adherencia revelan, en general, una tendencia a la disminución de la cantidad de mena adherida al reducirse el contenido de humedad en la muestra, independientemente de la inclinación de la placa. Se evidencia, además, que los porcentajes de mena adherida para las dos inclinaciones difieren y varían en amplios rangos según los valores de humedad analizados. El comportamiento antes descrito indica que en muestras con granulometría homogénea, la inclinación de la placa y la fuerza de cohesión entre las partículas tienen una influencia predominante en el porcentaje de mena adherida.

Al comparar, para ambas pilas, los porcentajes de mena adherida se observaron diferencias notables, siendo mayor en la pila 2. Este comportamiento se explica por la reducción de las energías cinética y

potencial de las muestras de la pila 2 respecto a las de la 1, como consecuencia de la reducción de los diámetros de las partículas en las muestras tamizadas.

CONCLUSIONES

La adherencia de la mena no está determinada solamente por el contenido de humedad del material, sino además por su granulometría y por el ángulo de inclinación de la superficie de contacto. En muestras de granulometría heterogénea es recomendable secar el material laterítico hasta valores de humedad igual o inferior a 32%, para lograr el menor porcentaje de adherencia del material. Cuando la mena es previamente tamizada, para valor de contenido de humedad igual a 35% o mayor, el ángulo de inclinación de la superficie de contacto con la mena no influye notablemente en la adherencia, la cual, en este caso, estará determinada por la fuerza de cohesión entre el mineral y la placa y la energía cinética y potencial asociadas a las muestras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANWAR, S. I.; G. N. TIWARI. 2001. Evaluation of convective heat transfer coefficient in crop drying under open sun drying conditions, *Energy Conversion and Management*, 42 (5) : 627-637.
- BÉRRIZ, L. 2003. Secador Solar de Madera. Centro de Investigaciones de Energía Solar. Santiago de Cuba.
- CASTILLO, A. 2007. Influencia del contenido de humedad en el consumo de combustible de los secaderos cilíndricos rotatorios de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Trabajo de Diploma) 55p.
- OYMAZ, I. 2004. Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus alba* L.) *Journal of Food Engineering*, 65(2) : 205-209.
- DURÁN, R. 2006. *Estudio de las propiedades físico mecánicas del mineral laterítico*. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Trabajo de Diploma) 62p.
- EKECHUKWU, O. V.; B. NORTON. 1999. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology, *Energy Conversion and Management*, 40(6) : 615-655.

- ESPER, A.; W. MÜHLBAUER. 1998. Solar Drying-An Effective Means of Food Preservation, *Renewable Energy*, 15(1-4) :95-100.
- ESTENOZ, S.; N. PÉREZ; E. RONDÓN. 2001. Procedimiento de homogeneización y secado solar de materiales a granel e instalación requerida, Certificación de Patente de Invención No 22883.
- ESTENOZ, S.; M. ESPINOSA. 2003a. Prueba de homogeneización y secado solar del mineral (Parte I): Centro de Investigaciones del Níquel, Cuba, Informe de Investigación.
- ESTENOZ, S.; M. ESPINOSA. 2003b. Procedimiento y equipo para secado solar de materiales a la intemperie, Solicitud de invención cubana No. 175, OCPI, OCPI, La Habana.
- ESTENOZ, S. M.; A. ALDERÍ; N. BATISTA; A. DONATIÉN. 2005. Resultados en la industria minera del secado solar y la homogeneización de minerales en pilas a la intemperie. Memorias del Evento CIEMA '05, Noviembre 8-11, ISBN 959-2007-198-5, UO-CEEFE, Santiago de Cuba (En CD).
- ESTENOZ, S. 2007. Procedimiento y equipo para secar materiales a la intemperie, Solicitud de Patente de Invención 2007-0163, OCPI, La Habana.
- FONSECA, S; J. ABDALA; T. RODRÍGUEZ; J. PANTOJA. 2000. Análisis térmico del secador solar de tambor rotatorio para granos. *Tecnología química*, 20(3) 70-75 .
- FONSECA, S; C. BERGUES; J. ABDALA; P. GRIÑÁN; G. HERNÁNDEZ. 2002. Estudio de la cinética del secado de granos en el prototipo de secador solar. Análisis de los resultados. *Tecnología química*, 22 (2):59-64
- GIGLER, J. K.; W. K. P. VAN LOON; C. SONNEVELD. 2004. Experiment and modelling of parameters influencing natural wind drying of willow chunks, *Biomass and Bioenergy*, 26 (6) :507-514.
- GÖGÜS, F.; M. MASKAN. 2006. Air drying characteristics of solid waste (pomace) of olive oil processing, *Journal of Food Engineering*, 72(4) :378-382.

- GUTIÉRREZ, R. 2003. Influencias de las características del mineral laterítico en los índices de explotación de los camiones articulados VOLVO A40D y A35C en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Trabajo de Diploma) 60p.
- HOLLICK, J. C. 1999. Commercial scale solar drying, *Renewable Engineering*, 16(1-4) :714-719.
- KARATHANOS, V. T; V. G. BELESSIOTIS. 1997. Sun and Artificial Air Drying Kinetics Products, *Journal of Food Engineering*, 31 (1) :35-46.
- KNOULE, F. 1982. *El secado*. Bilbao. Ediciones Urno. pág. 50-150.
- MAHMUTOGLU, T.; F. EMIR; Y. BIROL. 1996. Sun solar drying of differently treat-ed grapes and storage stability of dried grapes, *Journal of Food Engineering*, 29(3-4) :289-300.
- MEDEIROS, M. L.; A. M. BARTOLOMEU; R. NOGUEIRA; S. CAETANO. 2006. Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products, *Journal of Food Engineering*, 73(4) :402-406.
- ORIOL, J.; F. AGUILAR. 1988. *Máquinas de transporte continuo*. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 232p.
- RETIRADO, Y. 2007. Comportamiento de la humedad durante el secado solar del mineral laterítico. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis de Maestría) 71p.
- RETIRADO, Y.; E. GÓNGORA; E. TORRES; A. ROJAS. 2007. Comportamiento de la humedad durante el secado solar del mineral laterítico. *Minería y Geología*, 23(3) www.ismm.edu.cu/revistamg. [Consultada: 15 enero 2008]
- SARAVIA, L.; L. ZUNINO; R. ECHAZÚ. 1990. Perfomance y diseño de secaderos-invernaderos de convección forzada. V Congreso Ibérico y IV Congreso Iberoamericano de Energfas Renovables. Madrid, España.
- SIERRA, R. 2005. Perfeccionamiento de la metodología de cálculo de los transportadores de banda. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis de Maestría) 92p.
- TIRIS, C.; N. OZBALTA; M. TIRIS; I. DINCER. 1995. Thermal performance of a new solar air heater, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 22(3) :411-423.

- TIWARI, G. N. 2002. *Solar Energy. Fundamentals, Design, Modelling and Applications*. Alpha Science International Ltd., New Delhi, India.
- TOGRUL, I. T.; D. PEHLIVAN. 2004. Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process, *Journal of Food Engineering*, 65(3) :413-425.
- TOURÉ, S.; S. KIBANGU-HKEMBO. 2004. Comparative study of natural solar drying of cassava, banana and mango, *Renewable Energy*, 29(6) :975-990.
- TORRES, E. 1999. Investigación del arrastre de partículas en los gases durante el secado del mineral en tambores cilíndricos rotatorios. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis de Maestría) 68p.
- TUNDE-AKINTUNDE, T. Y; T. J. AFOLABI.; B. O. AKINTUNDE. 2005. Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annum*), *Journal of Food Engineering*, 68(4) :439-442.
- TÜRK, I. 2003. Determination of convective heat transfer coefficient of various crops under open sun drying conditions, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 30(2) :285-294.

