

Comportamiento de la humedad durante el secado solar del mineral laterítico

Yoalbys Retirado Mediaceja¹ / yretirado@ismm.edu.cu
Ever Góngora Leyva¹ / egongora@ismm.edu.cu
Enrique Torres Tamayo¹ / etorres@ismm.edu.cu
Arturo Luis Rojas Purón¹ / artrojaspuron@ismm.edu.cu

RESUMEN

En las empresas cubanas del níquel que utilizan el proceso Caron, el contenido elevado de humedad en la materia prima mineral incide en el aumento del consumo de combustible en los secadores durante el secado térmico. Se evaluó de forma experimental la humedad durante el secado solar del mineral laterítico a la intemperie. El método de análisis de la humedad utilizado fue el de diferencias de pesadas. Se empleó la regression lineal multiple para establecer los modelos matemáticos de las masas de trabajo. El estudio demostró que los parámetros climatológicos más influyentes en el secado solar del mineral laterítico son la temperatura del medio ambiente, las precipitaciones, la velocidad del viento y la temperatura del punto de rocío, así como que solamente el agua no estructural es la que puede ser eliminada. La humedad se redujo en un 13 %.

PALABRAS CLAVE

Secado solar, humedad, lateritas, parámetros climatológicos.

Behaviour of humidity during solar drying of lateritic mineral

ABSTRACT

In Cuban nickel enterprises using Caron process high humidity in the fed mineral increases fuel consumption of cylindrical dryers during draying process. To determine the possibility of reducing the humidity contents and to know the factors that influence upon it, it was evaluated in an experimental way the humidity reaching during the natural solar drying process of lateritic mineral lot. The method of analysis of the humidity used is the weight differences. Finally, it is carried out the statistical processing of results with multiple lineal regressions that allows to establish the mathematical models for the experienced working masses. The relationship between the different variables of the process is shown by means of the graphics of behaviour of the humidity taking in consideration the different more influential climatological parameters in the solar drying, such as mass of mineral, mineralogy, temperature of the environment, rains and wind velocity. Also was demonstrated that only non structural water can be eliminate. Humidity was reduced 13 %.

KEY WORDS

Solar drying, humidity, laterites, climatological parameters.

INTRODUCCIÓN

La industria cubana del níquel se encuentra inmersa en dos grandes cambios: la modernización de sus plantas, con el objetivo de disminuir los costos de producción por tonelada de níquel, y el perfeccionamiento empresarial para hacerla más competitiva en el mercado internacional. Este último como proceso integral no puede soslayar el impulso tecnológico a partir de una aplicación consecuente de la ciencia y la técnica.

El proceso de secado del mineral consume el 23 % del total de la energía consumida por la empresa. En aras de disminuir el consumo de combustible se ha planteado aumentar la eficiencia del proceso de secado en los cilindros rotatorios aplicando previamente el secado solar.

La búsqueda de una tecnología adecuada para el proceso de secado solar en la planta de preparación de mineral permitirá el desarrollo acelerado de la empresa y el logro de la misión de esta industria: incrementar y diversificar la producción de níquel y cobalto alcanzando los estándares internacionales de eficiencia metalúrgica, costos de producción y productividad que permitan maximizar los aportes a la economía (Quintana, 1999).

Teóricamente, el secado solar ha sido abordado por diferentes investigadores (Sherwood, 1936; Lykov, 1968; Knoule, 1968; Strumillo, 1975; Perry et al., 1985), sin embargo, no se encuentran referencias a experimentos sobre secado de material laterítico, por cuanto depende de las propiedades termofísicas, de difícil determinación, a lo que se une la influencia que ejercen las condiciones climatológicas donde se encuentra el depósito de la materia prima mineral sometida a secado, que para el caso de la región de Moa, toma características especiales al existir un microclima de constantes cambios atmosféricos que hacen difícil la predicción y pronóstico del secado de materiales multicomponentes como las lateritas.

Por otra parte, la mayor experiencia en el secado solar se ha alcanzado para materiales unicomponentes que son de baja complejidad, pues los multicomponentes exigen el conocimiento y control de numerosos factores involucrados en el proceso.

Investigaciones recientes (Estenoz et al., 2003b; Santos, 2005; Ramírez, 2006; Romero, 2006) plantean que durante el secado solar la humedad del material laterítico depende de varios factores, entre los que se destacan: masa de mineral a secar, composición mineralógica, temperatura del medio ambiente, humedad relativa, radiación solar, precipitaciones y velocidad del viento, teniendo en cuenta las variaciones climatológicas frecuentes que caracterizan a la región de Moa.

Sin embargo, se desconoce en qué medida influye cada uno de estos parámetros en el contenido de humedad, por lo que el objetivo del trabajo fue obtener experimentalmente el comportamiento de la humedad del mineral laterítico durante el secado solar.

MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en la Unidad Básica de Minería de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Las muestras pertenecen a los perfiles lateríticos L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda (Rojas, 2005) (Figura 1).

El material laterítico se dispuso en forma de pilas para facilitar el drenaje del agua. Como variables investigadas se tuvieron en cuenta la masa del mineral a secar y la humedad final. Se procedió a remover las pilas de un lado a otro, siempre en una misma dirección (de este a oeste), en condiciones meteorológicas normales, según procedimiento de Estenoz et al. (2003). Para determinar el contenido de humedad se tomaron muestras de las capas superficiales de las pilas cuatros veces al día (8:00 am; 10:00 am; 2:00 pm y 4:00 pm).

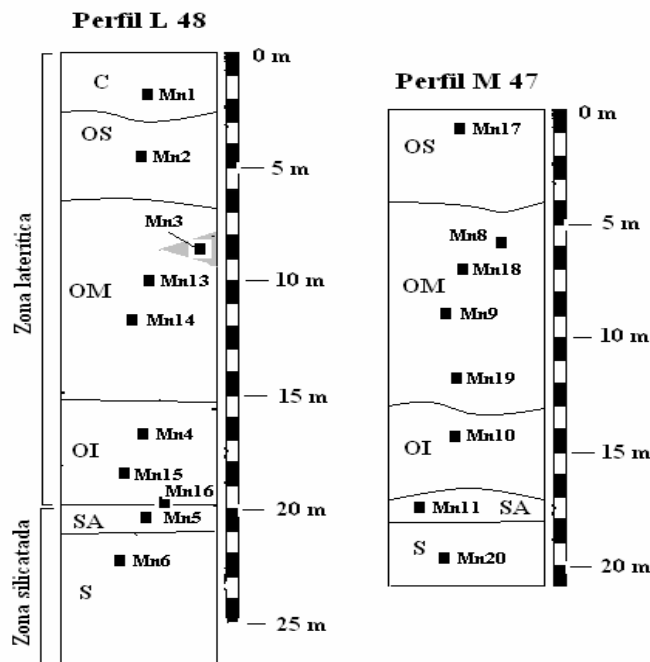


Figura 1. Esquema de los perfiles lateríticos L-48 y M-47 del yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba. Observaciones: Horizontes del perfil: C: concreciones ferruginosas; OS: ocre superior; OM: ocre medio; OI: ocre inferior; SA: serpentinita alterada; S: serpentinita inalterada o roca madre. (*) Mn1: toma de muestra. Dibujo no está realizado a escala.

Para comprobar en qué medida puede ser eliminada el agua contenida en los minerales que componen el material laterítico se evaluó el comportamiento térmico de estos minerales empleando técnicas de ensayos térmicos en muestras de perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda.

Para el Análisis Térmico Diferencial (ATD) se empleó equipamiento del modelo PL - STA Thermal Science con analizador térmico simultáneo STA 1000/1500, de la Stanton Rederoff Ltd, con horno cilíndrico vertical y conversor digital acoplado a un micro computador. Crisol de platino, peso de la muestra de 12 a 14 mg, con registros normalizados para 10 mg, lo que facilita la comparación con diversos análisis. Velocidad de calentamiento de 20 °C/minuto con un intervalo de temperatura de 25 a 1 100 °C .

Las mediciones de los parámetros climatológicos se realizaron en la estación meteorológica de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, utilizando el equipo Davis EZ-Mount Groweather con un sistema de adquisición de datos, utilizando sensores meteorológicos que incluye la medición, adquisición, procesamiento y registro de las variables: temperatura del medio ambiente (T_{ma}), radiación solar (R_s), velocidad de viento (V_v) y dirección (D_v), precipitaciones (P), humedad relativa (H_r) y temperatura del punto de rocío (T_{pr}).

Se procedió según el diseño factorial completamente aleatorio como recomienda la literatura (Guzmán, 1986; Guerra et al., 2003). Se realizaron 24 mediciones para el análisis de la humedad del material laterítico. Las variables medidas de forma directa en el material laterítico depositado fueron: masa a secar, humedad inicial y final. Las restantes se obtuvieron de acuerdo con lo normado en la estación meteorológica de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Técnica experimental

El proceso de medición de la humedad del mineral laterítico se realizó por el método tradicional de diferencias de pesadas, dada su confiabilidad para los resultados, además de su sencillez y fácil aplicación (Miranda, 1996). Para determinar el contenido de humedad se tomaron 100 g de muestras de las capas superficiales del depósito de lateritas. Posteriormente se sometieron al secado durante cinco horas en estufa a una temperatura de 105 °C, luego se enfriaron en una desecadora, pesándose la muestra seca. Con estos valores se procede a determinar el contenido de humedad empleando la expresión de Martínez-Pinillos (1997):

$$H = \frac{W_I - W_F}{W_I} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

H : contenido de humedad; % .

W_I : masa inicial de la muestra; g .

W_F : masa final de la muestra; g .

El procesamiento estadístico se realizó con ayuda del software Microsoft Excel 2003.

RESULTADOS Y DISCUSION

El estudio térmico de los minerales que componen el material laterítico analizado mostró que la composición mineralógica no tiene una influencia significativa en el secado solar. Los termogramas (Figuras 2 a y b) exponen tres intervalos de temperatura con picos endotérmicos notables: uno alrededor de los 65 °C, típico de la pérdida del agua no estructural que evidencia una alta humedad en las muestras. Otro, con picos estrechos y muy intensos, entre los 295 y 350 °C, atribuible a la deshidroxilación de la goethita. Los endotérmicos, entre los 450 y 500 °C, son atribuibles al proceso de oxidación de los minerales de manganeso (Voskresenskaya et al., 1986).

En general, para las muestras estudiadas se comprueba que con calentamiento a temperaturas inferiores a 70 °C solo se puede extraer el agua no estructural, la denominada humedad ligada mecánicamente, como ya lo habían reportado Rebinder (1979) y Kasatkin (1987). Esto confirma el hecho de que con el secado solar sólo se elimina la humedad que se encuentra de forma físico-mecánica en el material, al trabajar con un rango de temperatura baja, que oscila entre 12 y 36 °C, lo cual no es satisfactorio para la intensificación de la transferencia de calor debido a la poca diferencia de temperatura entre el aire y el material laterítico.

Humedad

La humedad del mineral depende considerablemente del comportamiento de estos parámetros climatológicos (Tabla 1). A medida que aumenta la temperatura del medio ambiente se intensifica el proceso de secado del material. Con la disminución de la humedad relativa y el incremento de la radiación solar y de la velocidad del viento, el proceso de desorción de la humedad se hace más intenso. Además, en ciertos horarios la velocidad de secado aumenta y en otros disminuye.

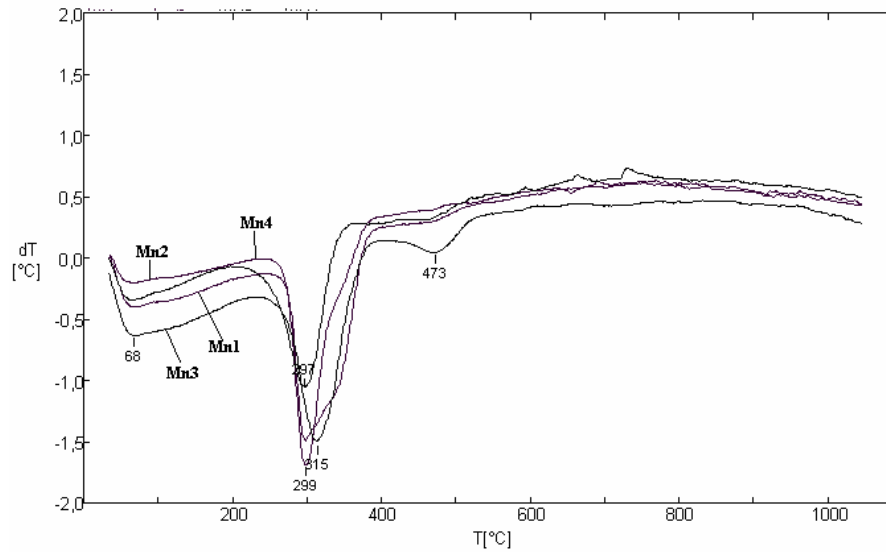


Figura 2a. Termogramas de muestras de los horizontes de la zona laterítica del perfil L-48. Mn1: muestra de concreciones ferruginosas. Mn2: muestra del ocre superior. Mn3: muestra de ocre medio. Mn4: muestra de ocre inferior.

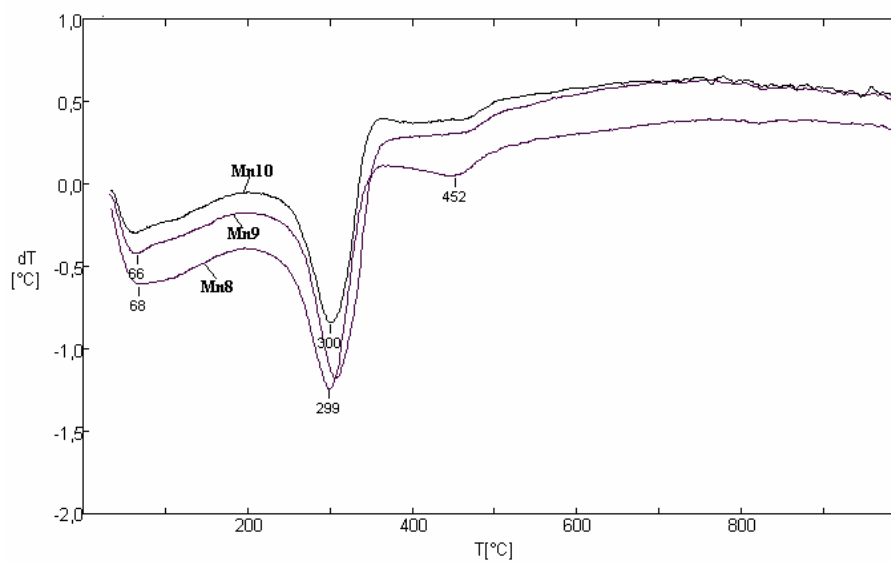


Figura 2b. Termogramas de muestras de la zona laterítica del perfil M-47 según los horizontes de ocre medio (Mn8 y Mn9) y ocre inferior (Mn10).

Tabla 1. Comportamiento de la humedad en correspondencia con la variación de los parámetros climatológicos.

Exp.1	Días	Hora	H _{Final} (%)	T _{ma} (°C)	R _s (W/ m ²)	V _v (m/s)	D _v	P (mm)	H _r (%)	T _{pr} (°C)	
Pila 1	1	8:00 AM	39	25,7	143	1,3	WSW	0	85	22,9	
	1	10:00 AM	38	28,8	591	2,2	WSW	0	72	23,2	
	1	2:00 PM	36	31,7	967	2,2	NNW	0	69	25,3	
	1	4:00 PM	35	32,4	536	1,3	N	0	67	25,5	
	2	8:00 AM	37	28,1	70,0	1,8	SSE	0	75	23,3	
	2	10:00 AM	34	30	529	2,7	ENE	0	69	23,7	
	2	2:00 PM	31	31,4	244	3,1	ENE	0	74	26,3	
	2	4:00 PM	29	30,9	145	2,7	ESE	0	71	25,0	
	3	8:00 AM	40	24,8	174	0,4	E	12,5	77	22,6	
	3	10:00 AM	38	28,1	605	1,3	E	0	71	22,4	
	3	2:00 PM	33	31,6	980	2,2	NE	0	61	23,1	
	3	4:00 PM	30	32,4	648	2,2	ENE	0	59	23,3	
	4	8:00 AM	32	27,6	158	0,0	SSE	0	69	21,4	
	4	10:00 AM	30	30,4	602	2,7	ENE	0	64	22,8	
	5	8:00 AM	28	28,1	164	0,1	SE	0	66	21,1	
	5	2:00 PM	26	33,8	695	3,1	E	0	62	25,6	
	Pila 2	1	8:00 AM	38	27,9	152	0,0	WSW	0	75	23,1
		1	10:00 AM	36	30,2	596	1,3	NNE	0	68	23,7
1		2:00 PM	34	32,9	556	1,8	ENE	0	62	24,7	
2		8:00 AM	34	28,7	168	0,9	S	0	72	23,1	
2		10:00 AM	30	31,3	586	2,2	ENE	0	67	24,5	
2		2:00 PM	28	33,9	919	2,7	ENE	0	65	26,4	
3		8:00 AM	30	30,1	149	1,3	SE	0	72	24,4	
3		11:00 AM	25	32,3	775	3,6	ENE	0	70	26,1	

La evaporación de la humedad se intensifica en el horario comprendido entre las 10:00 am y las 2:00 pm. Esto se debe a que a la salida del sol la temperatura de la tierra comienza a elevarse y como consecuencia de ello se almacena cierta cantidad de calor en las capas superficiales de esta. Después del mediodía la tierra comienza a ceder calor por convección a la atmósfera y es cuando el aire alcanza su máximo valor de temperatura y velocidad, que varía con el tiempo en función de la hora del día.

Debido al rechazo en la noche del calor almacenado durante el día existe un continuo descenso de la temperatura de la tierra y del aire que está en contacto con ella, resultado de la transferencia de calor por convección que entre ellos existe. Cuando el aire se enfría comienza la condensación del vapor de agua contenido en él y con ello la formación del rocío (Fernández, 1994), fenómeno que incrementa la humedad superficial del mineral, es por ello que en horas de la mañana el mineral tiene un contenido de humedad similar o mayor al de la última medición realizada el día anterior.

Por otra parte la disminución de la humedad no es un fenómeno ajeno a la velocidad del viento ya que mientras más intensa y constante sea ésta, mayor capacidad tendrá de arrastrar la masa de vapor de agua que se encuentra alrededor y en la superficie de la pila.

Por otra parte, el factor que más influye en el aumento de la humedad del mineral es la ocurrencia frecuente de precipitaciones.

Comportamiento de la humedad del material laterítico respecto a los parámetros climatológicos más influyentes en el proceso

A partir de los resultados expuestos en la Tabla 1 se pudo establecer relaciones entre los parámetros climatológicos y la humedad.

Temperatura del medio ambiente

Es el parámetro más influyente en el proceso de secado solar, pues en la mayoría de los casos determina la velocidad del secado. Como se refleja en las Figuras 3 y 4, la temperatura a las 8:00 am oscila entre 22 y 28 °C generalmente, en la medida en que ésta comienza a elevarse, la humedad del mineral decrece.

Resulta evidente que en el horario de 10:00 am a 2:00 pm tiene lugar una intensificación del proceso de secado solar, esto se refleja en las curvas de humedad, que en este horario tienen una mayor pendiente, y es a esta hora cuando comienza a elevarse la temperatura del medio ambiente.

Se observa además que los mayores valores de temperatura se obtienen entre las 11:00 am y las 4:00 pm. Los valores de temperatura muestran que, aunque la misma sea baja durante el día, el mineral continua secándose, lo que demuestra que el proceso se desarrolla tanto con radiación solar directa como difusa.

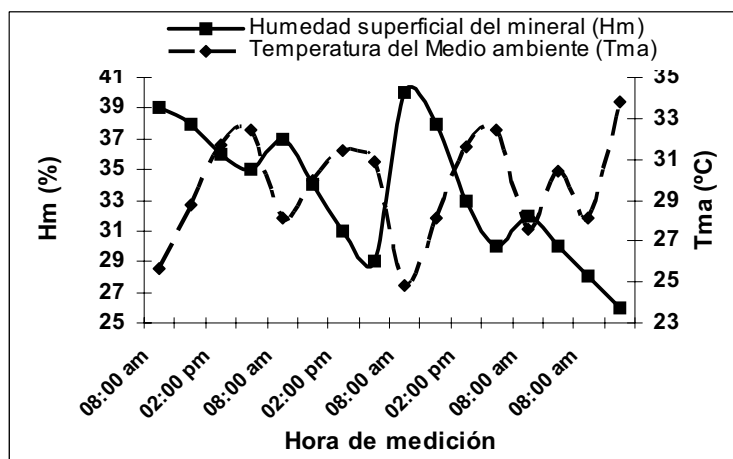


Figura 3. Influencia de la temperatura del medio ambiente en la humedad superficial del mineral (pila 1).

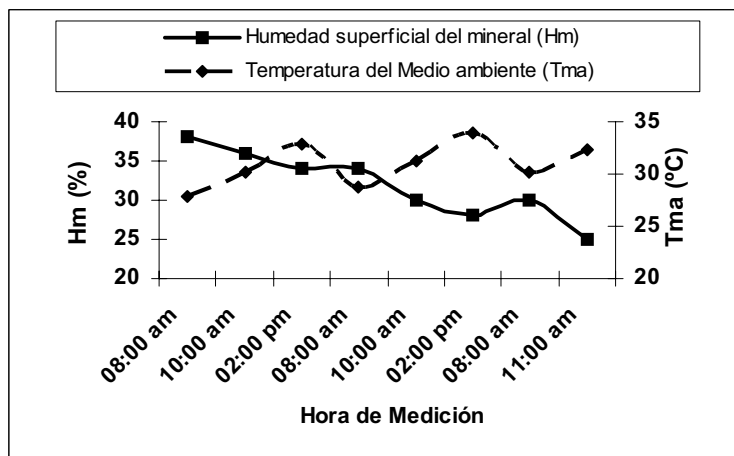


Figura 4. Influencia de la temperatura del medio ambiente en la humedad superficial del mineral (pila 2).

Precipitaciones

Son las que más afectan el proceso de secado solar del material laterítico (Figura 5). Cuando la humedad alcanzó el 29 % cayeron 12,5 mm de lluvia, provocando un aumento de la humedad hasta el 40 % y un retardo en el proceso. De ahí que sean las precipitaciones el principal obstáculo para el desarrollo del secado solar a la intemperie.

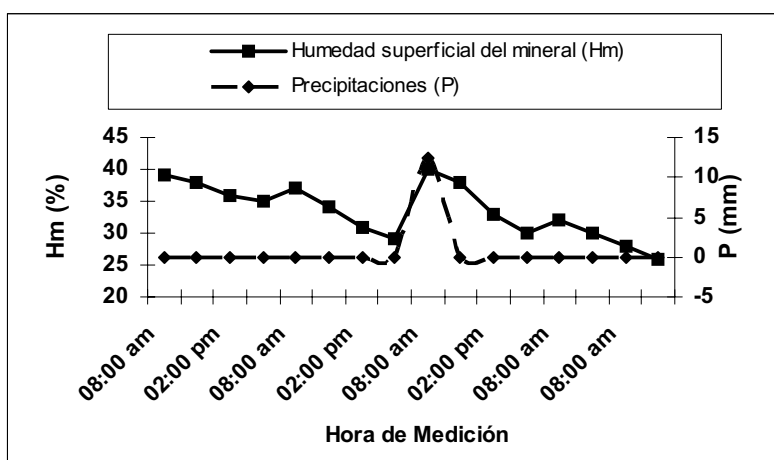


Figura 5. Influencia de las precipitaciones en la humedad superficial del mineral (pila 1).

Velocidad del viento

Este es, después de la temperatura del medio ambiente, el factor que más favorece el proceso de secado solar del material laterítico. A las 8:00 am la velocidad del viento alcanza sus valores mínimos (0-0,1 m/s), en muchos casos se evidencia que aumenta a medida que avanza el día. En el horario de 10:00 am a 4:00 pm se alcanzan los mayores valores de velocidad del viento (3,1-3,6 m/s) predominando en el horario de 10:00 am a 3:00 pm, de lo que se deduce que este tiene una gran influencia en la pendiente de la curva de secado entre el horario de 10:00 am a 2:00 pm. Se observa así que, a mayor velocidad y constancia del viento, mayor es el arrastre de los vapores de agua que contiene la pila en su superficie y alrededores (Figuras 6 y 7).

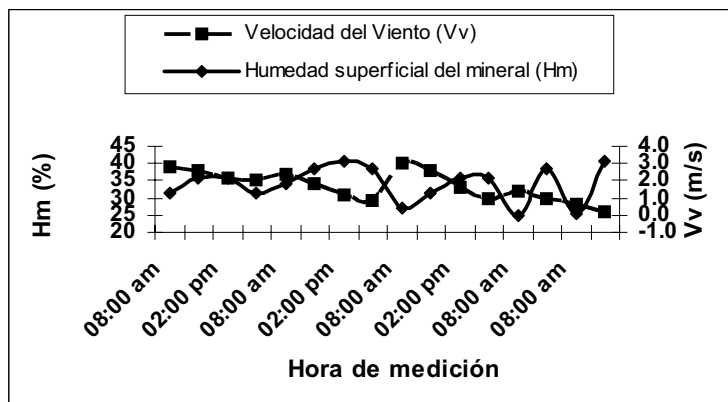


Figura 6. Influencia de la velocidad del viento en la humedad superficial del mineral (pila 1).

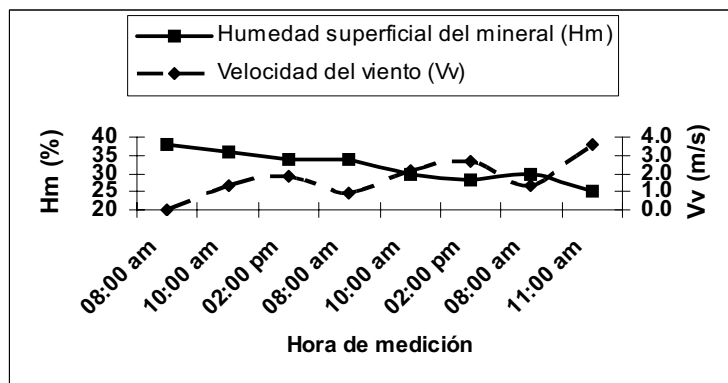


Figura 7. Influencia de la velocidad del viento en la humedad superficial del mineral (pila 2).

Temperatura del punto de rocío

Después de las precipitaciones, el punto de rocío y la humedad relativa son los parámetros que más afectan el proceso. Como se observa en las Figuras 8 y 9, cuando disminuye la temperatura del punto de rocío, aumenta la humedad superficial del mineral. Este proceso ocurre generalmente en horas de la madrugada y cerca del amanecer. En este horario los vapores de agua existentes en la atmósfera se condensan y convertidos en líquido humedecen la pila. A medida que avanza el día la temperatura del punto de rocío aumenta y la humedad del mineral decrece rápidamente, lo que demuestra que el parámetro analizado afecta fundamentalmente las capas superficiales.

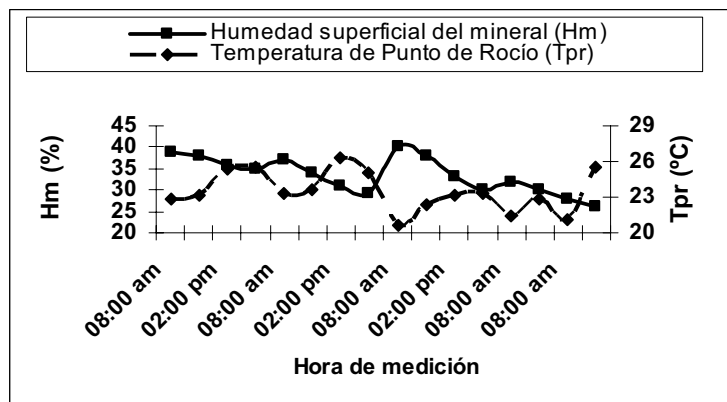


Figura 8. Influencia de la temperatura del punto de rocío en la humedad superficial del mineral (pila 1).

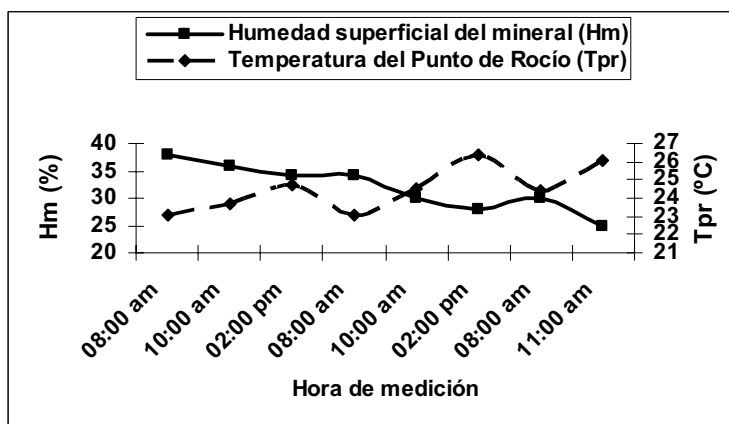


Figura 9. Influencia de la temperatura del punto de rocío en la humedad superficial del mineral (pila 2).

Comportamiento de la humedad del mineral respecto al tiempo de secado

La humedad superficial se afectó en gran medida por las precipitaciones al comienzo del tercer día (Figura 10), elevando su valor hasta alcanzar un 40 %; se observan además pequeños picos en las curvas que indica un aumento de la humedad superficial. Estos incrementos se producen en las horas de la madrugada donde la humedad del mineral es afectada por la disminución de la temperatura del punto de rocío y el incremento de la humedad relativa del aire. La curva ilustra que en el horario comprendido entre las 8:00 am y 2:00 pm se intensifica el proceso de secado y por consiguiente disminuye de forma acelerada la humedad como

lo indica la inclinación de la pendiente de la curva en este horario. Se necesitaron cinco días para disminuir la humedad del mineral desde un 39 hasta el 26 %, el tiempo de secado para el experimento fue de 102 horas.

En la pila 2 el comportamiento de la humedad superficial se muestra más estable porque no hubo precipitaciones, la temperatura del punto de rocío y la humedad relativa tuvieron muy pocas influencias sobre el mismo. Solo al comienzo del tercer día ocurrió una alteración de la humedad superficial en horas de la madrugada. Para disminuir el contenido de humedad de 38 a 25 % se necesitó un tiempo menor que para la pila 1, siendo este solamente de tres días, lo que demuestra que sin la influencia negativa de las precipitaciones y un comportamiento similar de la temperatura del medio ambiente y la velocidad de los vientos, se puede reducir considerablemente el tiempo de secado que para esta pila fue de 52 horas. Estos comportamientos también demuestran la influencia que tiene la masa de mineral a secar en el tiempo de secado y la humedad final que se obtiene.

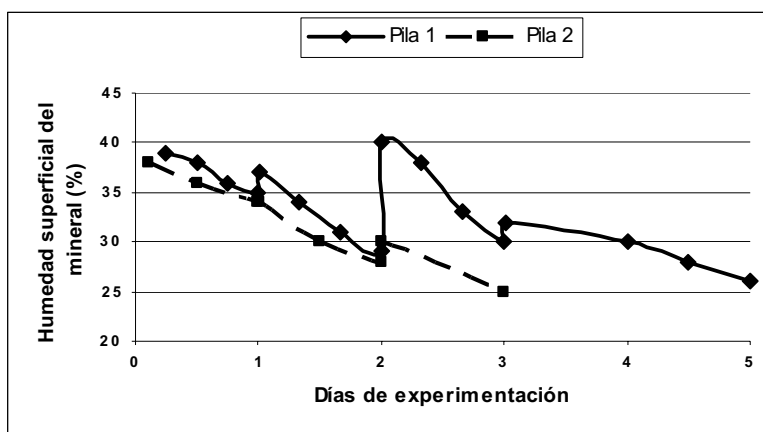


Figura 10. Influencia del tiempo de secado en la humedad superficial del mineral para las dos pilas.

Resultados del análisis estadístico

Los resultados obtenidos, luego del procesamiento estadístico, permitieron obtener los modelos matemáticos adecuados para

la determinación de los valores de humedad para las condiciones experimentadas. Estos modelos se relacionan a continuación:

Modelos matemáticos estadísticos

Pila 1 (100 kg)

$$H_{Final} = 62,172 - 2,982 \cdot T_{ma} + 0,011 \cdot R_s - 0,832 \cdot V_v - 0,289 \cdot P - 0,057 \cdot H_r + 2,575 \cdot T_{pr} \quad (2)$$

Pila 2 (50 kg)

$$H_{Final} = -128,443 + 10,308 \cdot T_{ma} + 0,012 \cdot R_s - 3,540 \cdot V_v + 2,497 \cdot H_r - 13,462 \cdot T_{pr} \quad (3)$$

Donde:

H_{Final} : humedad final del mineral; % .

T_{ma} : temperatura del medio ambiente; °C .

P: precipitaciones; mm .

H_r : humedad relativa; % .

T_{pr} : temperatura del punto de rocío; °C .

R_s : radiación solar; W/m² .

V_v : velocidad del viento; m/s .

Análisis de los modelos matemáticos obtenidos

Las ecuaciones 2 y 3 muestran los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre H_{Final} y las diferentes variables independientes del proceso. Dado que la probabilidad es inferior a 0,01 existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 90 % en ambas pilas.

El coeficiente de determinación (R^2) indica que los modelos explican un 80,9 y 96,5 % de la variabilidad en H_{Final} para las pilas 1 y 2 respectivamente, siendo R^2 ajustado el más conveniente para comparar modelos con diferentes números de variables independientes. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos de 2,41 y 1,52. Estos valores pueden usarse para construir los límites de

predicción para nuevas observaciones. Los errores absolutos medios fueron de 1,47 y 0,69, estos representan los valores medios de los residuos.

La simplificación de los modelos (en caso de ser necesaria) se realiza a partir de considerar la probabilidad más alta en las variables independientes, en el caso analizado son 0,960 y 0,678 correspondientes a H_r en ambas pilas, considerando que estos valores son superiores a 0,10 el término no es estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 90 % o superior. Por tanto, puede ser eliminada la variable H_r de los modelos. En estas condiciones las ecuaciones matemáticas que describen el comportamiento del proceso se reducen de la forma siguiente:

Modelos matemáticos estadísticos simplificados

Pila 1 (100 Kg)

$$H_{Final} = 62,172 - 2,982 \cdot T_{ma} + 0,011 \cdot R_s - 0,832 \cdot V_v - 0,289 \cdot P_r + 2,575 \cdot T_{pr} \quad (4)$$

Pila 2 (50 Kg)

$$H_{Final} = -128,443 + 10,308 \cdot T_{ma} + 0,012 \cdot R_s - 3,540 \cdot V_v - 13,462 \cdot T_{pr} \quad (5)$$

Los errores relativos puntuales máximos calculados por los modelos son 10,7 y 3,5 % para las pilas 1 y 2, respectivamente. En todos los casos el error relativo promedio es inferior al 5 %. Estos resultados confirman la validez de los modelos obtenidos, teniendo como frontera el intervalo de variación de los diferentes parámetros influyentes.

CONCLUSIONES

1. Durante el estudio se demostró que los parámetros climatológicos más influyentes en el secado solar del mineral laterítico son la temperatura del medio ambiente, las precipitaciones, la velocidad del viento y la temperatura del punto de rocío.
2. Con la implementación del secado solar solo se puede reducir la humedad físico-mecánica ligada al mineral,

- confirmado mediante los análisis térmicos diferenciales aplicados a muestras de perfiles lateríticos.
3. Con el secado solar se redujo en un 13 % el contenido de humedad del material, siendo el tiempo de secado de 102 y 51 horas para las pilas 1 y 2, respectivamente.
 4. Quedaron establecidos los modelos matemáticos mediante el análisis de regresión lineal múltiple, los mismos están representados por las ecuaciones 4 y 5. En todos los casos el coeficiente de determinación es superior al 80 % y el error relativo promedio no excede el 5 %.

REFERENCIAS

- 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.
- GUERRA, C; A. MENÉNDEZ; R. BARRERA; E. EGAÑA. 2003. *Estadística*. La Habana: Editorial Félix Varela, 376p.
- KASATKIN, A. 1968. *Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química*. Segunda parte. Editorial pueblo y Educación. 1987. /pág 262-366.
- KNOULE F. 1968. *El secado*. Bilbao. Ediciones Urno. pág 50-150.
- LYKOV, A.V. 1968. *Teoría del secado*. Editorial Energía, 2da edición, Moscú, 1968.
- MIRANDA J. L. 1996. Composición y conjugación de métodos de determinación de humedad de la industria del Níquel. *Minería y Geología*. 13(2): 39-45
- PERRY J. H. *Chemical Engineering Handbook*. 6^{ta} Edición. Mc Graw Hill, New York. pág 7-20. 1985.
- QUINTANA, R. Conferencia Sobre la Industria Cubana del Níquel. II Seminario de Perfeccionamiento de Cuadros. ISMM, Octubre 1999.
- ROJAS, A.; G. OROZCO; O. VERA, A. ARDERÍ. 2005. Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda. I CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA. La Habana, abril 2005. ISSN 0258 5979.

- ROMERO, Y. 2006. Estudio experimental a escala piloto del secado solar del mineral laterítico. Trabajo de Diploma. ISMM, 55p.
- SANTOS, Y. 2005. Estudio preliminar a escala de laboratorio del secado solar del mineral laterítico. Trabajo de Diploma. ISMM, 71p.
- SHERWOOD, T. K. 1936. *Secado de los sólidos*. Editorial Goslesizg, Moscú
- STRUMILLO, C. Z. 1975. *Fundamentos de la teoría y practica del secado*. Editorial W.N.T, Varsovia.
- VERA, L. 2001. Procedimiento para la determinación de las redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa. Tesis doctoral. ISMM, Moa, 111 p.
- VOSKRESENSKAYA, N, CORDEIRO, C. 1986. Hallazgo de elizabetinskita en las formaciones ocrosas de la corteza de intemperismo del yacimiento Levisa, Holguin. *Minería y Geología* 4(3) :53-62.