

Perfeccionamiento de la tecnología de secado natural de la mena laterítica

Improvement of the natural drying technology of lateritic ore

Yoalbys Retirado-Mediaceja¹, Héctor Luis Laurencio-Alfonso², Marcelo Fabián Salazar-Corrales³, Manuel Ángel León-Segovia², Marco Aníbal León-Segovia², Manuel Arturo Falconí-Borja⁴, Jorge Patricio Vega-Peña⁴

¹Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba.

²Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

³Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, Ecuador.

⁴Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador.

Resumen

En la empresa productora de níquel y cobalto Comandante Ernesto Che Guevara se diseñó un sistema integral de explotación minera para obtener la calidad exigida en la mena laterítica que se procesa. Este sistema concibe una tecnología para el secado natural del mineral que tiene importantes ventajas, pero presenta restricciones que limitan su aplicación eficiente. En este trabajo se proponen, a partir de la sistematización de resultados precedentes obtenidos en la modelación, simulación y optimización del secado natural, las modificaciones que posibilitan mitigar las limitaciones de la tecnología. Las innovaciones planteadas, implementadas integralmente, permiten mejorar la planificación, ejecución y control del proceso y, por tanto, contribuyen al perfeccionamiento de la tecnología de secado natural de las lateritas.

Palabras clave: secado natural; tecnología de secado; mena laterítica; perfeccionamiento tecnológico.

Abstract

To obtain the necessary quality in the lateritic ore that is processed at Comandante Ernesto Che Guevara nickel plant, it was designed an integrated system of mining exploitation. This system conceives a technology for the natural drying of the mineral which has important advantages, but it has restrictions that limit its efficient implementation. In this paper, we propose the modifications that make possible to mitigate the limitations of technology, from the systematization of previous results obtained in simulation, modeling, and optimization of natural drying. The proposed innovations, integrally implemented, will improve the planning, execution and control of the process and, therefore, improving the natural drying technology of the laterites.

Keywords: natural drying; drying technology; lateritic ore; technological improvement.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de níquel y cobalto en Cuba, con tecnología carbonato-amoniaco, comienza con la extracción a cielo abierto de las lateritas (mena laterítica). La mena es sometida a varios procesos metalúrgicos, iniciando por el secado convencional mediante la combustión de petróleo, el que tiene lugar en la Unidad Empresarial de Base Preparación de Mineral (UEB-PM) de la empresa productora de níquel y cobalto Comandante Ernesto Che Guevara.

La mena laterítica ingresa a los secaderos térmicos convencionales con un contenido de humedad elevado, superior al 32 %, lo cual genera los siguientes problemas tecnológicos (Vinardell 2011):

- Adherencia y recirculación de gran cantidad (3-5 %) del material trasegado en los sistemas de transporte automotor y por bandas, que aumenta el consumo de combustible y de energía eléctrica.
- Excesivo transporte de agua (34-42 t) por cada 100 t de material procesado, que impone la necesidad de aumentar la productividad de los sistemas de transporte para cumplir los planes de producción.
- Elevado consumo específico de petróleo (27-34 kg) por tonelada de lateritas suministradas al proceso de secado convencional, lo cual reduce el rendimiento térmico de los secaderos.

Entre las causas fundamentales que originan el elevado contenido de humedad de las lateritas se destacan las características hidrogeológicas típicas de los yacimientos ferroniquelíferos cubanos (De Miguel 2007, 2009)

y las limitaciones de la tecnología de secado natural aplicada al material antes de su ingreso a la UEB-PM (Retirado 2012). Esta investigación se refiere a la segunda causa.

La tecnología de secado natural fue diseñada como una etapa intermedia del Sistema Integral de Explotación Minera (SIEM), para el secado solar a la intemperie de las lateritas, que prevé la formación, evacuación y control de las operaciones con pilas de minerales en los depósitos mineros (Estenoz et al. 2005, 2007a y b); tiene un grupo importante de ventajas (Estenoz 2009), pero también deficiencias que pueden ser mitigadas mediante la inserción de modificaciones derivadas de la modelación, simulación y optimización del proceso de secado natural de las lateritas.

Los referidos métodos (modelación, simulación y optimización) han sido utilizados internacionalmente para establecer, perfeccionar y analizar diversas tecnologías de secado solar (Rathore y Panwar 2011; Mustapha et al. 2014; Sunil y Sharma 2014; Agarwal y Sarviya 2016; Teixeira-Da Silva y Malpica-Pérez 2016). En Cuba los trabajos de secado solar abordan, fundamentalmente, el estudio energético y el diseño de tecnologías y equipos para el secado de productos minerales, agrícolas, agropecuarios y otros (Leyva et al. 2008; Andión-Torres, Suárez-Rodríguez y Bergues-Ricardo 2012; Bergues-Ricardo, Bérriz-Pérez y Griñán-Villafaña 2013; Bergues-Ricardo, Díaz-López y Torres-Ten 2013; Bergues-Ricardo y Díaz-López 2014; Roche-Delgado, Hernández-Touset y García-Rodríguez 2017). Los resultados han sido buenos, pero no deben ser extrapolados al proceso investigado debido a las características particulares del mismo.

Por otra parte, son limitadas las investigaciones internacionales que abordan el secado solar de los minerales lateríticos y su tecnología. En el ámbito nacional se han estudiado aspectos mineros, tecnológicos y termotécnicos del proceso (Estenoz, Pérez y Ramírez 2006; Vinardell 2011; Retirado et al. 2016). Estos trabajos no consideran con suficiente rigor el perfeccionamiento de la tecnología empleada en el secado natural de las lateritas a través de la modelación, simulación y optimización energética del proceso, a pesar de que tal innovación constituye una alternativa técnica y económicamente viable para racionalizar la implementación del secado natural de la mena laterítica en las condiciones de explotación de la empresa niquelífera.

El presente trabajo tiene como propósito proponer modificaciones que contribuyan al perfeccionamiento de la tecnología empleada en la ejecución del proceso de secado natural de las lateritas.

2. METODOLOGÍA

En la industria cubana del níquel el proceso de secado natural de las lateritas se implementa conforme a las recomendaciones de estudios realizados en el Centro de Desarrollo de Investigaciones del Níquel y la empresa niquelera Comandante Ernesto Che Guevara (Estenoz 2001, 2009). Los estudios antes citados se orientan, esencialmente, al desarrollo del SIEM como un paquete tecnológico, a pesar de que el mismo presupone la construcción o adaptación de instalaciones industriales que generan altos costos de inversión inicial y elevados consumos de portadores energéticos.

2.1. Paquete tecnológico SIEM y tecnología de secado natural

El SIEM relaciona tecnológica y económicamente los fenómenos y procesos de geología, minería, ecología, metalurgia y contaminación ambiental con la situación económico-financiera de la empresa y los mercados, brindando la posibilidad de diseñar, mediante modelos matemáticos, cualquier estrategia de explotación minero-metalúrgica y prever integralmente los cambios que esta generaría (Figura 1).

Además, el SIEM prevé modificaciones e innovaciones tecnológicas orientadas al diseño, construcción e implementación de instalaciones o tecnologías de preparación, homogeneización, secado natural, beneficio y almacenamiento del mineral para alcanzar las especificaciones de calidad en los flujos de lateritas que se abastecen a la industria (Estenoz 2009).



Figura 1. Algoritmo general de funciones y procesos del SIEM. **Fuente:** Estenoz (2009).

Como se aprecia, la tecnología de secado natural constituye una etapa intermedia del SIEM (Figura 1; proceso 5). Esta, según Estenoz (2009), tiene como objetivo desarrollar un método que posibilite aprovechar al máximo las energías solar y eólica, así como el calor natural en el proceso de secado solar para obtener la mayor productividad del secado por unidad de superficie disponible en el patio de secado. Sin embargo, tal propósito no se ha logrado en la empresa niquelífera debido a que la tecnología de secado natural del SIEM presenta las siguientes limitaciones (Retirado 2012):

- Presupone la construcción de un grupo de instalaciones auxiliares y medios de transporte que, para su funcionamiento, requieren de elevados consumos de portadores energéticos (Figura 2). Esto limita su aplicación, debido a la contingencia energética existente en el país y, por consiguiente, en la empresa.

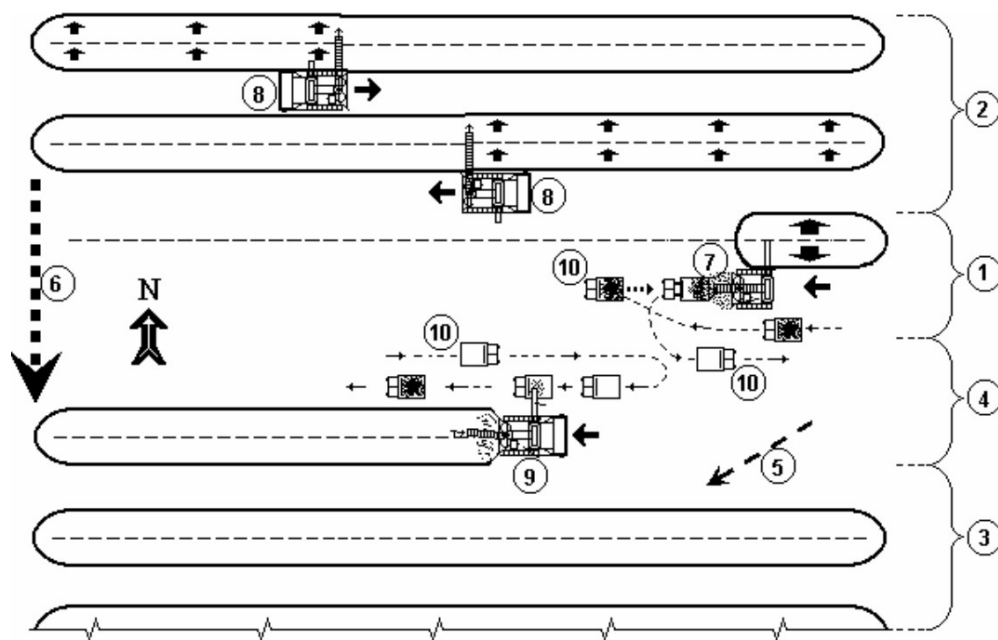


Figura 2. Esquema general de operaciones en depósitos de secado solar de minerales lateríticos. **Fuente:** Estenoz (2009).

Legenda: Etapa de formación de pilas (1); Proceso de remoción durante el secado solar (2); Pilas en reserva (3); Pilas en evacuación (4); Dirección media de los vientos predominantes (5); Dirección de avance del frente de operaciones (6); Equipos en apilado, remoción y evacuación (7, 8 y 9); Camiones (10).

- No concibe las diversas geometrías que puede adoptar la sección transversal de las pilas. Esto impide calcular con precisión el área de captación solar, el volumen de material expuesto a secado y otros parámetros fundamentales del proceso.
- No considera la evaluación rigurosa de los procesos de transferencia de calor y masa que inciden en el secado natural de las lateritas, así como la aplicación de modelos matemáticos ajustados a las condiciones en que se desarrolla el proceso en la empresa niquelera.
- No permite predecir, de forma precisa, la distribución de humedad que experimentará material durante el secado natural en pilas. Esto dificulta estimar el efecto de secado que se logra en el mineral.
- No prevé la automatización del cálculo de los principales parámetros del secado natural de las lateritas, a partir de la creación de una aplicación informática que caracterice al proceso y posibilite su simulación computacional y optimización energética.

Las limitaciones anteriores pueden ser eliminadas o mitigadas mediante la incorporación, a la tecnología de secado natural, de las modificaciones que se exponen en la próxima sección, las cuales se definen de la sistematización de los resultados obtenidos en investigaciones precedentes que abordan la modelación, simulación y optimización del proceso de secado natural de la mena laterítica (Retirado *et al.* 2012a y b, 2016, 2017).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los aspectos hasta aquí expuestos se infiere que la tecnología de secado natural empleada en la empresa niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara puede ser perfeccionada, para ello se recomienda la incorporación progresiva de las modificaciones que se proponen a continuación:

3.1. Modificaciones que se deben incorporar en la tecnología

- *Implementación de sistemas de drenaje en los yacimientos lateríticos adaptados a sus características hidrogeológicas y de relieve.*

Los aspectos hidrogeológicos de la región fueron valorados, de forma general, en la concepción del SIEM (Estenoz 2009). Los mismos, según el autor, son esenciales en la organización y conformación de los trabajos de drenaje, desecación, construcción y explotación de los depósitos mineros y el avance de los sectores de los frentes de arranque en cada época del año.

Sin embargo, resulta muy importante realizar estudios hidrogeológicos específicos a los yacimientos que se proyectan para la explotación, porque estos permitirán inferir la cantidad de agua no estructural que inicialmente presenta el material y la reducción en el contenido de humedad que se puede lograr a través de los sistemas de drenaje que se crean al efecto (De Miguel 2007, 2009). Lo anterior posibilitaría maximizar los efectos de desorción de la humedad que se alcanzan cuando las lateritas se exponen al secado solar a la intemperie, en el patio de la empresa.

- *Caracterización cualitativa y cuantitativa de las variables meteorológicas del lugar donde se implementará el proceso de secado natural, a partir del estudio de su comportamiento en un periodo que resulte representativo para estos fines.*

Según el estudio realizado por la empresa especializada en auditorías ambientales CESIGMA S.A. (CESIGMA S.A. 2004) la región de Moa, donde se encuentra el patio de secado natural de la empresa niquelera Comandante Ernesto Che Guevara, presenta un clima tropical con una irregular distribución estacional de las precipitaciones, determinada por una

significativa disminución de las mismas dentro de los períodos lluviosos (octubre-noviembre y mayo-junio).

Por tanto, se infiere que existen periodos del año donde históricamente las precipitaciones han sido moderadas (julio-septiembre y diciembre-abril). Se destacan los meses de verano, en los cuales existe una marcada disminución de las lluvias, lo que, conjugado con los altos regímenes de radiación solar, provoca la máxima evaporación de la humedad en el material. Por las razones antes expuestas se recomienda que la tecnología de secado natural empleada considere la planificación e implementación del proceso en estos periodos, lo cual posibilitará incrementar el rendimiento térmico del secado y reducir las pérdidas económicas debido a la interrupción repentina del proceso por ocurrencia de precipitaciones en los meses lluviosos.

- *Caracterización termofísica, química y mineralógica de la mena laterítica.*

La tecnología de secado natural se ha aplicado sin considerar la influencia que tienen las propiedades termofísicas del material. Sin embargo, el conocimiento de estas características permite inferir el comportamiento térmico que puede experimentar la mena laterítica durante el desarrollo del proceso de secado natural. Por otra parte, a partir de las características químicas y mineralógicas de las lateritas se puede determinar, mediante la aplicación de técnicas de ensayos térmicos (termogramas), el tipo de humedad que contienen las mismas, así como los regímenes de temperatura que se requieren para su evaporación parcial o total del agua no estructural (Retirado 2012).

- *Orientación del eje longitudinal de las pilas de lateritas preferentemente en la dirección norte-sur.*

Esta acción posibilita que el Sol (fuente de calor principal empleada en el secado natural), en su movimiento diario de este a oeste, distribuya uniformemente la radiación solar sobre la superficie de secado de las pilas (Figura 3). Lo anterior, unido a la dirección media de los vientos predominantes (Figura 2), contribuye a que el secado sea lo más homogéneo posible (Estenoz 2009; Retirado *et al.* 2012b). Asimismo, la orientación sugerida elimina los inconvenientes asociados al cálculo de la radiación solar global y el calor total que incide sobre las superficies de las pilas de minerales cuando las mismas se exponen al secado natural y están orientadas arbitrariamente, respecto al eje norte-sur (Retirado *et al.* 2012a).

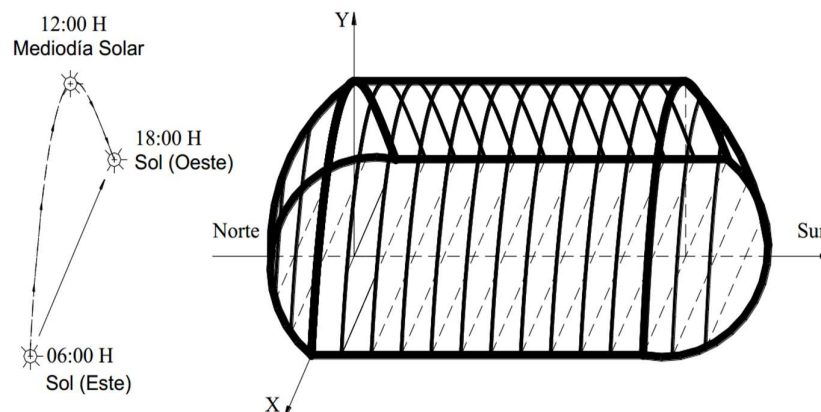


Figura 3. Orientación recomendada para pilas expuestas a secado natural.

Fuente: Retirado *et al.* (2012a).

A pesar de la recomendación anterior, los modelos matemáticos y la aplicación informática que sustentan a la tecnología de secado natural deben considerar la posibilidad de que las superficies de secado de las pilas estén inclinadas y orientadas en cualquier magnitud y dirección, porque estos parámetros (la inclinación y orientación) son función del área horizontal disponible en el patio de secado solar, el volumen de material que se necesita secar y la dirección media de los vientos predominantes. Por tanto, existe la posibilidad de que bajo determinadas circunstancias las pilas tengan que ser orientadas arbitrariamente para utilizar racionalmente el espacio disponible en el patio de secado solar y optimizar la evacuación de la humedad evaporada mediante el aprovechamiento racional del flujo de aire circulante.

- *Caracterización de la geometría de la sección transversal de las pilas que se someterán al secado solar, considerando propiedades físicas (humedad y granulometría) del material.*

Esto permite calcular, con adecuada precisión y basado en modelos matemáticos específicos, los ángulos de talud natural (maximal y tangencial), el área de exposición o captación solar de las pilas, el volumen de material expuesto a secado, la radiación solar global que llega a la superficie de las pilas y el calor total disponible para el proceso de secado natural (Retirado *et al.* 2016).

Lo anterior posibilita estimar con mayor exactitud el tiempo de secado al que deberá someterse el producto para reducir su contenido de humedad desde un valor inicial conocido en la UEB-PM hasta otro valor final deseado y, por consiguiente, mitigará los inconvenientes asociados a los prolongados

tiempos de retención al que somete, a veces de forma innecesaria, las lateritas en el patio de secado natural.

En la tecnología empleada, generalmente, se considera la implementación del proceso de secado natural con pilas de sección transversal triangular (Figura 4). Esta práctica, bajo determinadas exigencias del proceso productivo, puede resultar ineficiente en relación con la captación de la energía solar, por cuanto no aseguraría los volúmenes de material seco (menos húmedo) requeridos o generaría bajos rendimientos del proceso de secado solar.

Estudios recientes evidencian que las lateritas al ser depositadas a granel pueden adoptar cuatro configuraciones básicas en su sección transversal: semielíptica, hiperbólica, parabólica y triangular (Sierra 2010) y que la forma geométrica de las pilas influye en la cantidad de radiación solar captada por la superficie de secado. Al aplicar técnicas de optimización energética se ha constatado que la implementación racional del proceso debe desarrollarse en pilas de sección transversal parabólica que tengan las superficies de secado inclinadas entre treinta y sesenta grados sexagesimales, respecto al plano horizontal (Retirado *et al.* 2012a).



Figura 4. Pilas de mena laterítica expuestas a secado natural. **Fuente:** Retirado (2012).

- *Evaluación rigurosa de los procesos de transferencia de calor y masa que se producen durante el secado natural de las lateritas.*

Este aspecto es de vital importancia y debe realizarse a partir del empleo de modelos matemáticos ajustados y validados para las condiciones específicas en que se desarrolla el secado natural en la empresa. Por cuanto, esos

modelos garantizarían un aceptable grado de confiabilidad de los resultados que se obtienen en su utilización. No resulta conveniente continuar estimando los tiempos de secado a partir de valores promedios de radiación solar, como actualmente se realiza con la tecnología empleada. Lo anterior genera inexactitudes que atentan contra el desarrollo racional del proceso, desde los puntos de vista energético y económico.

Además, la evaluación rigurosa del intercambio de calor y masa que se produce en el secado natural de las lateritas (a través de la modelación matemática, la simulación y optimización) permite considerar la dinámica con que varían las condiciones energéticas durante el desarrollo del proceso y posibilita determinar el mecanismo físico de movimiento de la humedad en las pilas de minerales (Retirado *et al.* 2012b). Estos aspectos son relevantes para el análisis energético y económico del proceso en cuestión, así como para el perfeccionamiento de la tecnología empleada en su implementación o el diseño de otras más ventajosas.

- *Automatización del cálculo de los parámetros fundamentales del proceso de secado solar, a partir de aplicaciones informáticas diseñadas para este propósito.*

La creación de una aplicación informática, como "SecSolar" (Figura 5) o cualquier otra que se desarrolle, garantiza rapidez y precisión en el cálculo de los parámetros fundamentales del proceso (Retirado *et al.* 2017); posibilita simular la distribución de humedad que experimentará el material durante el secado natural, y con ello se puede predecir la variación de humedad que es posible obtener en el mineral para ciertas condiciones de secado predeterminadas para las simulaciones.

Áreas y Volúmenes de Pilas | Diseño de Pilas según Radiación Solar Recibida | **Cálculo del Calor Total** | Dinámica del Calor | Dinámica del Secado

Cálculo del calor recibido por radiación en la superficie de secado

Año 2011 Mes 10 Día 4 Día del Año 277 Hora 12 T_a 30.2 T_s 110.64 Temperatura Cielo 291.659784934483

Constante de Stefan-Boltzman: $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$ G_{Cielo} 410.288423935261 Emisividad 0.93

Absorbididad Solar de las Menas 0.63 **Flujo de Radiación en un Día y una Hora** 956.099607079525

Cálculo de Calor Total debido a la Radiación Considera Gcielo Recalcula Ficheros **Flujo de Calor por Radiación en 12 horas** 189215615.587

Cálculo del calor recibido por convección en la superficie de secado

Número de Grashof 1.57676764619776E15 Velocidad del Aire 2.2 Número de Reynolds 15505794.8041229

Convección de tipo: Libre

C (Libre) 0.56 n (Libre) 0.25

M (Forzada) 0.025 B (Forzada) 0.9 n (Forzada) 0.333333 m (Forzada) 0.133333

Para convección tipo MixTA

Flujo Opuesto Flujo Transversal n (Mixta) 3

Cálculo de Q_c para cierta hora Nu 575.532698824 h_a 0.11988600414 **Flujo de Calor por Convección en un Día y una Hora** 9.6440342994465

Cálculo de Calor Total debido a la Convección Recalcula Ficheros **Flujo de Calor por Convección en 12 horas** 20706442.6473

Flujo de Calor en 1 h 965.743641378736

Flujo de Calor en 12 h 209922058.234222

Optimización de la superficie de una pila atendiendo al Calor Total recibido

Ángulo T entre 20 y 70 Ángulo M entre 20 y 70 Paso Ángulos T y M 5 Solo tipos Parabólicos Positivos y Triangulares

Solo si Volumen mayor o igual que Volumen Mínimo Volumen Mínimo 0 Optimizar para la hora actual

Optimizar la Superficie según Calor por Radiación + Convección AT 30 AM 30 Q_{op} 335112042.897949

100% Finalizar

Figura 5. Tercera pestaña de la aplicación informática "SecSolar".

Adicionalmente, la automatización del cálculo facilita la optimización de la superficie de captación solar de las pilas considerando criterios energéticos y prácticos (Figura 5, sección marcada en verde), con la finalidad de conocer previamente la conveniencia o no de la implementación del proceso para determinadas condiciones de explotación. Con ello se reducen gastos económicos, a veces innecesarios, asociados a la experimentación y, por consiguiente, se racionaliza la implementación del secado natural.

4. CONCLUSIONES

- Las limitaciones que tiene la tecnología empleada en el secado natural de la mena laterítica imposibilitan su implementación eficiente en la empresa niquelera Comandante Ernesto Che Guevara. Las mismas introducen inexactitudes en el cálculo del área de captación solar, la distribución de humedad que experimenta el material en las pilas, la velocidad de secado y otros parámetros fundamentales del proceso.
- Las modificaciones propuestas tienen en cuenta las principales limitaciones presentes durante el desarrollo del secado natural de la mena laterítica. Estas innovaciones, implementadas integralmente, permitirán mejorar la planificación, ejecución y control del proceso y, por tanto, contribuyen al perfeccionamiento de la tecnología de secado natural empleada en la industria del níquel.

5. REFERENCIAS

- Agarwal, A. y Sarviya, R. 2016: An experimental investigation of shell and tube latent heat storage for solar dryer using paraffin wax as heat storage material. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(1): 619-631.
- Andión-Torres, R.; Suárez-Rodríguez, J. y Bergues-Ricardo, C. 2012: Evaluación experimental de un secador solar tipo Gabinete para el secado de hollejo de naranja. *Tecnología Química*, 32(2): 186-193. Consultado: 9 agosto 2017. Disponible en: <http://revistas.uo.edu.cu/index.php/tq>.
- Bergues-Ricardo, C. y Díaz-López, J. 2014: Diagramas de tendencia para la generalización sostenible de secadores solares directos de productos agropecuarios. *Tecnología Química*, 34(2): 143-151. Consultado: 9 agosto 2017. Disponible en: <http://revistas.uo.edu.cu/index.php/tq>.
- Bergues-Ricardo, C.; Díaz-López, J. y Torres-Ten, A. 2013: Correlaciones de parámetros medios de proceso para el secado de productos agropecuarios en cama fina en secadores solares directos. *Tecnología Química*, 33(3): 264-271. Consultado: 9 agosto 2017. Disponible en: <http://revistas.uo.edu.cu/index.php/tq>.
- Bergues-Ricardo, C.; Bérriz-Pérez, L. y Griñán-Villafañe, P. 2013: Secadores solares directos: Una experiencia para su extensión y generalización en la zona oriental de Cuba. *Tecnología Química*, 33(1): 27-33. Consultado: 9 agosto 2017. Disponible en: <http://revistas.uo.edu.cu/index.php/tq>.
- Cesigma S. A. 2004: *Estudio del impacto ambiental del Proyecto Expansión de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Empresa CESIGMA S. A. Moa. 122 p.
- De Miguel, C. 2007: Influencia de procesos hidrogeológicos en la formación y posterior enriquecimiento mineral de yacimientos cobalto-niquelíferos en lateritas. En: II Congreso Cubano de Minería. La Habana.
- De Miguel, C. 2009: Cálculos del drenaje y efecto económico en yacimientos hierro-cobalto-niquelíferos en lateritas con ejemplo del yacimiento Punta Gorda en Moa, Cuba. En: III Congreso Cubano de Minería. La Habana.
- Estenoz, S.; Alderí, A.; Batista, N. y Donatién, A. 2005: Resultados en la industria minera del secado solar y la homogeneización de minerales en pilas a la intemperie. En: Convención Internacional de Energía y Medio Ambiente (CIEMA). Santiago de Cuba.
- Estenoz, S. 2001: Desarrollo sostenible en la minería a través del aprovechamiento integral de los yacimientos lateríticos. *Tecnología Química*, 21(3): 54-60.
- Estenoz, S. 2009: Sistema integral de explotación minera para desarrollo

- sostenible de recursos naturales y su procesamiento tecnológico. Casos de estudio. En: III Congreso Cubano de Minería. La Habana.
- Estenoz, S.; Alderí, A.; Reyes, A.; Lovaina, Y. y Pinto, H. 2007a: Uso racional de los recursos con la explotación de los depósitos de estabilización de la calidad en la empresa Ernesto Che Guevara. En: II Congreso Cubano de Minería. La Habana.
- Estenoz, S.; Alderí, A.; Batista, N.; Donatién, A. y Pérez, N. 2007b: Aplicación del secado solar y la homogeneización en la industria niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara. En: II Congreso Cubano de Minería. La Habana.
- Estenoz, S.; Pérez, N. y Ramírez, I. 2006: Secado solar y homogeneización de minerales a la intemperie en la industria cubana del níquel. En: VII Taller Internacional CUBASOLAR. Villa Clara.
- Leyva, A.; Díaz, A.; Leyva, O.; Trotman, J. 2008: Etapa preliminar del secado solar del carbón mineral a la intemperie en el Centro de Investigaciones Siderúrgicas. *Ecosolar*, 23(1): 1-5. Consultado: 9 agosto 2017. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/>.
- Mustapha, K.; Ajibola, T.; Salako, A. y Ademola, S. 2014: Solar drying and organoleptic characteristics of two tropical african fish species using improved low-cost solar driers. *Food Science and Nutrition*, 2(3): 244-250.
- Rathore, N. y Panwar, N. 2011: Design and development of energy efficient solar tunnel dryer for industrial drying. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13(1): 125-132.
- Retirado, Y. 2012: *Modelación matemática del proceso de secado natural de las menas lateríticas*. Tesis Doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 183 h.
- Retirado, Y.; Legrá, A.; Gilbert, A.; Salazar, E.; Salazar, J. y Mendoza, M. 2016: Influencia de la inclinación de las pilas en el secado natural de la mena laterítica. *Minería y Geología*, 32(3): 113-127. Consultado: 3 agosto 2017. Disponible en: www.ismm.edu.cu/revistamg.
- Retirado, Y.; Legrá, A.; Laurencio, H.; Gilbert, A.; Zalazar, C.; Osorio, L. y Gresesqui, E. 2017: Aplicación informática basada en modelos matemáticos del secado natural de la mena laterítica. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 11(2): 102-116. Consultado: 3 agosto 2017. Disponible en: <https://rcci.uci.cu/?journal=rcci>.
- Retirado, Y.; Legrá, A.; Lamorú, M. y Torres, E. 2012a: Optimización del secado solar de la mena laterítica en la industria cubana del níquel. *Minería y Geología*, 28(2): 30-46. Consultado: 3 agosto 2017. Disponible en: www.ismm.edu.cu/revistamg.

- Retirado, Y.; Legrá, A.; Lamorú, M.; Torres, E.; Laurencio, H. y Góngora, E. 2012b: Modelación y simulación del proceso de secado natural de la mena laterítica. *Minería y Geología*, 28(4): 1-19. Consultado: 3 agosto 2017. Disponible en: www.ismm.edu.cu/revistamg.
- Roche-Delgado, L.; Hernández-Touset, J. y García-Rodríguez, A. 2017: Diseño conceptual de secador solar a escala piloto para algas marinas. *Tecnología Química*, 37(2): 206-219. Consultado: 9 agosto 2017. Disponible en: <http://revistas.uo.edu.cu/index.php/tq>.
- Sierra, R. 2010: *Optimización energética en el diseño de transportadores de banda para el mineral laterítico cubano*. Tesis Doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 166 h.
- Sunil, V. y Sharma, N. 2014: Experimental investigation of the performance of an indirect-mode natural convection solar dryer for drying fenugreek leaves. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118(1): 523-531.
- Teixeira-Da Silva, J. y Malpica-Pérez, F. 2016: Desarrollo de un modelo matemático para dimensionar un deshidratador solar directo de cacao. *Ingeniería Mecánica*, 19(1): 30-39. Consultado: 9 agosto 2017. Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>.
- Vinardell, J. 2011: *Implementación del secado solar natural de las lateritas en las empresas niquelíferas cubanas*. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 63 h.

Recibido: 28/09/17

Aceptado: 31/10/17

Yoalys Retirado Mediaceja, Profesor Titular. Doctor en Ciencias Técnicas (PhD). Centro de Estudio de Energía y Tecnología Avanzada de Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM). Holguín, Cuba yretirado@ismm.edu.cu