

Procedimiento para la explotación sostenible del sistema de secado solar de menas lateríticas

Procedure for the sustainable exploitation of the solar drying system of lateritic ores

Diosdanis Guerrero-Almeida^{1*}, Rosaida Fonseca-Aguilar², José Alejandro Carmentate-Fernández¹

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

²Empresa Productora de Níquel y Cobalto *Ernesto Che Guevara*, Moa, Holguín, Cuba.

*Autor para la correspondencia: dguerreroa2019@gmail.com

Resumen

Se diseñó e implementó un procedimiento para la explotación sostenible del sistema de secado solar en la Unidad Básica Minera de la empresa productora de níquel y cobalto *Ernesto Che Guevara* de Moa, Cuba, a partir del estudio y valoración de normativas de estandarización ISO 9001-2015, el sistema de gestión de la calidad de la empresa, así como los resultados obtenidos en su aplicación durante 5 años (2019-2023). Se ofreció un soporte práctico y metodológico que mostró la interconectividad e importancia de las variables y componentes que influyen en el sistema de secado. Los resultados contribuyen a la planeación estratégica empresarial, al perfeccionamiento del diseño, así como a la construcción y explotación sostenible de los terrenos base (plazoletas), utilizados para el secado natural de menas lateritas.

Palabras clave: secado solar, menas lateríticas, explotación sostenible, plazoletas de secado

Abstract

The design and implementation of a procedure are presented that allows the sustainable exploitation of the solar drying system used in the Basic Mining Unit (UBM) of the nickel and cobalt producer *Ernesto Che Guevara* (ECG) in Moa, Cuba, is presented. Based on the study and assessment of ISO 9001-2015 standardization regulations, the ECG's quality management system, as well as the results obtained from its application over a 5-year period (2019-2023), practical and methodological support is provided that demonstrates the interconnectivity and importance of the variables and components that influence said system. The results contribute to business strategic planning,

design improvement, as well as the construction and sustainable exploitation of the base lands (small squares) used for the natural drying of laterite ores.

Keywords: solar drying system, sustainable exploitation, laterite ores, drying small square

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de secado solar constituye uno de los métodos más empleados en la industria extractiva de materiales. La escasez de recursos energéticos, los altos precios de los combustibles y la acelerada degradación del medio ambiente, hacen que dicho método sea ampliamente aplicado en varias esferas productivas al nivel mundial. Se trata de un proceso en el cual los materiales se exponen directamente a la radiación solar colocándolos sobre el suelo o en dispositivos específicos (Retirado-Mediaceja, 2012; Retirado-Mediaceja *et al.*, 2016).

Cuba es uno de los mayores productores de níquel laterítico, al contar con yacimientos de este tipo, principalmente en Moa, cuyas reservas se colocan entre las cuatro mayores al nivel mundial (Guerrero-Almeida *et al.*, 2024). Gran cantidad de materia prima proveniente de la minería del níquel es secada utilizando la radiación solar, dadas las ventajas que este método presenta, aunque su uso ha estado mayormente dirigido a la industria de alimentos, café y madera.

Retirado-Mediaceja (2012), Retirado-Mediaceja *et al.* (2018), Estenoz (2009), entre otros investigadores, demuestran que el secado convencional de las menas lateríticas emplea alrededor del 20 % de la energía que consume la industria metalúrgica; sin embargo, usando el secado natural al sol se logra disminuir este indicador, por lo que se minimizan los costos de explotación y se preserva y reduce el peso o volumen para el transporte del material extraído. Regalado-Urquía (2023) y Fonseca-Aguilar (2024) aseveran que con la aplicación del secado solar en la explotación de los yacimientos lateríticos concesionados a la empresa productora de níquel y cobalto *Ernesto Che Guevara* (ECG) de Moa, es posible disminuir la humedad del mineral que se suministra al proceso metalúrgico.

Por su composición, complejidad e importancia, el método de secado solar posee un carácter sistémico (Guerrero-Almeida, 2025). Requiere de construcciones mineras denominadas terrenos base (plazoletas) formados por capas de material estéril con estructuras y funciones propias, sobre las que se distribuyen pilas de mineral laterítico que interactúan con múltiples variables (climáticas, geológicas, geotécnicas, tecnológicas, económicas, sociales) que garantizan su funcionamiento y permiten racionalizar la

tecnología de lixiviación carbonato amoniacal (CARON) aplicada en la ECG (Figura 1).

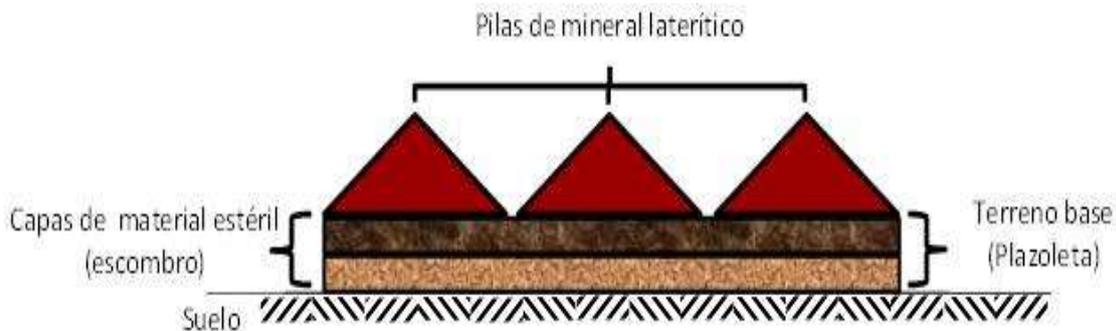


Figura 1. Representación esquemática del sistema de secado solar. Fuente: Fonseca-Aguilar (2024).

Aunque posee múltiples ventajas, el sistema de secado solar ha mostrado dificultades que impiden obtener los mejores indicadores tecnológicos de calidad que exige el proceso CARON de extracción de níquel a partir de lateritas ferruginosas. En las primeras dos plazoletas instaladas (1 y 6) se evidenció falta de control y monitoreo en la selección de la zona y del escombro utilizado, deficiente diseño y construcción, ocurrencia de fenómenos geodinámicos y elevado consumo de combustible por aumento de la humedad del mineral extraído, mala calidad de caminos mineros y aumento de la distancia de transportación de la mena, desde los frentes hasta los antiguos depósitos; todo lo cual deriva en una explotación poco sostenible de las menas (Fonseca-Aguilar, 2024).

La ECG, hasta la fecha, no dispone de un procedimiento integral que corrija las deficiencias mencionadas y sirva como instrumento metodológico para planificar la explotación sostenible de otras nueve plazoletas proyectadas. A partir de este enfoque se identifica la necesidad de tener una herramienta de gestión útil para tomar decisiones y medidas preventivas con vistas a su perfeccionamiento.

El presente trabajo constituye un paso de avance en este sentido, al tener como objetivo diseñar un procedimiento que garantice la explotación sostenible del sistema de secado solar que se aplica en la Unidad Básica Minera *Ernesto Che Guevara* (UBM-ECG).

2. GENERALIDADES

2.1. Localización del área de secado

El sistema de secado solar de menas lateríticas abarca 63,1 Ha del yacimiento Punta Gorda concesionado a la UBM-ECG del municipio de Moa. Sus plazoletas limitan al norte con las edificaciones de la empresa, al sur con una parte del

yacimiento Punta Gorda, al oeste con la mina de la empresa mixta Moanickel S.A. "Pedro Sotto Alba", y al este con el yacimiento Yagrumaje Norte. El área seleccionada está comprendida en los Bloques Mineros conocidos como R, Q y P (cuadrantes R51-53, Q52-54), P52-55, S51-53, O53-55 y N-53-54 (Fonseca-Aguilar, 2024; Figura 2).



Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

2.2. Características geográficas

El clima es tropical con abundantes precipitaciones; el relieve, montañoso, donde predominan vientos alisios provenientes del océano Atlántico cargados de humedad, con una distribución irregular de las precipitaciones dentro del período lluvioso. Presenta dos máximos; uno principal en octubre-noviembre y otro secundario en mayo-junio. De igual manera, presenta dos mínimos; uno en febrero-marzo y otro en julio-agosto. La cantidad de días al año con lluvias de más de 1 mm es superior a 100, el promedio anual de precipitaciones alcanza los 2 000 mm y la evaporación se acerca a los 1 600 mm (Retirado-Mediaceja, 2012).

La temperatura media anual es 27 °C, en verano fluctúa entre 30 °C y 32 °C, con máximas que oscilan entre 34 °C y 36 °C; en invierno varía entre 14 °C y 26 °C con mínimas alrededor de los 12 °C. La humedad relativa media anual para las 7:30 horas es de 85 % a 90 %; para las 13:00 horas está entre 70 % y 75 %.

El régimen eólico refleja la ocurrencia mayoritaria de los vientos alisios reforzados por las brisas marinas, y contrarrestados por el terral. Los vientos soplan sobre la zona oriental procedentes del NE en los meses de octubre-enero; del ENE, durante febrero-mayo y del E, en junio-septiembre.

La vegetación se caracteriza por la presencia de bosques de *Pinus cubensis* sobre las cortezas lateríticas y matorrales espinosos típicos de las rocas ultramáficas serpentinizadas (charrasco) donde hay menores potencias de las cortezas. Sobre los gabros y depósitos aluviales pueden aparecer algunas palmeras, cocoteros y árboles frutales. Las zonas bajas litorales están cubiertas por una vegetación costera típica entre la que se destaca el manglar.

La región se encuentra enclavada en el grupo orográfico Sagua-Moa-Baracoa, lo cual hace que el relieve sea predominantemente montañoso, principalmente hacia el sur, donde es más accidentado en la Sierra de Moa con dirección submeridional. Hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre los 40 m y 50 m como máximo, disminuyendo gradualmente hacia la costa.

Aparecen varios ríos y arroyos permanentes, entre los que se encuentran los ríos Moa, Los Lirios, Cabañas, Cayo Guam, Quesigua, Yagrumaje, Aserrío y La Vaca, los cuales afectan la parte central del yacimiento (Almaguer-Carmenates, 2005).

2.3. Características geológicas

El área está limitada por dos grandes fallas regionales que pasan por los valles de los ríos Moa y Cayo Guam. La primera está representada por el río Moa, a partir de la cual se desarrollan fracturas de segundo orden entre los que se destacan los arroyos Los Lirios, La Vaca y el río Yagrumaje. El complejo ultrabásico que aflora en toda su porción central y meridional está constituido predominantemente por harzburgitas, dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Estas rocas, de color verde oscuro a gris verdoso, poseen un alto agrietamiento con un grado de serpentización variable. El yacimiento Punta Gorda donde se enclava el sistema de secado solar está caracterizado por un basamento, la corteza de meteorización laterítica y lateritas redepositadas. La corteza de meteorización constituye el suelo predominante en la región y la materia prima mineral está representada por laterita niquelífera.

La permeabilidad en estas secuencias está entre 0,004 m/días y 0,430 m/días, aunque en zonas de intensa trituración, se pueden encontrar valores anómalos mayores de 2,00 m/días. Los valores de la potencia acuífera se manifiestan entre 0 m y 27,6 m. Los más bajos corresponden a los drenes

naturales y a la zona explotada, mientras que los más altos representan las áreas más elevadas del yacimiento.

2.4. Particularidades de la explotación minera

La UBM-ECG suministra materia prima mineral a la fábrica metalúrgica, cuyo esquema tecnológico está basado en la lixiviación carbonato amoniaca del mineral reducido (proceso CARON). Inició sus operaciones en 1985, con la explotación de los minerales del yacimiento Punta Gorda y producciones anuales hasta el año 1996 entre 1,5 y 2,3 millones de toneladas. El sistema de explotación aplicado en la mina es la minería a cielo abierto.

Se emplea un sistema de explotación con arranque y carga directamente al transporte automotor, en uno y/o varios escalones, mediante la combinación de retroexcavadoras andantes, o de esteras, y camiones (Figura 3). El proceso minero incluye el desbroce, destape, construcción de caminos, extracción por bancos múltiples paralelos con retroexcavadoras hidráulicas, transporte con camiones articulados o rígidos, escombreo y protección ambiental (García-De La Cruz, 2018).



Figura 3. Sistema de extracción y transporte del mineral laterítico. Fuente: Fonseca-Aguilar (2024).

3. METODOLOGÍA

La investigación fue concebida desde las metodologías cualitativa y cuantitativa, por la flexibilidad y variabilidad de sus métodos para obtener la información necesaria. Esto posibilitó la aplicación del análisis – síntesis, para definir el problema de la investigación, sintetizar e incorporar los aportes del conocimiento científico y revisar la bibliografía publicada sobre el tema. El método inductivo se aplicó para determinar la inferencia de lo general a lo particular del proceso de secado del mineral laterítico.

El método sistémico sirvió para determinar el basamento teórico que sustenta la investigación. El histórico-lógico permitió conocer el desarrollo y evolución de las publicaciones que describen el origen y funcionamiento del sistema de secado solar de la ECG. El método deductivo se asumió para la realización de razonamientos lógicos, sobre la tecnología minera.

Se aplicaron, además, la compilación de la información y el análisis bibliográfico para reunir y sistematizar datos mediante la revisión de fuentes bibliográficas, orales, digitales o de otro tipo. Estos fueron de gran importancia durante el estudio de la legislación ambiental, normas nacionales e internacionales, literatura especializada, consultas de archivos, guías metodológicas, análisis de proyectos, áreas de los trabajos, datos de campo, así como para confección del informe final de la investigación. La observación y medición permitieron la identificación de variables, caracterización geotécnica de los terrenos base y problemas presentados en el área.

Las entrevistas realizadas durante visitas a la UBM-ECG garantizaron contactar con trabajadores y dirigentes para familiarizarse con el tema objeto de estudio, búsqueda de la información y determinación de las causas que originaron la necesidad de realizar el procedimiento. Los métodos experimentales permitieron la toma de muestras, su análisis y comprobación de los resultados obtenidos en el terreno como parte de estudios geotécnicos. El estudio de caso sirvió para caracterizar el proceso tecnológico de secado solar y sus particularidades.

Para definir los componentes principales del procedimiento (etapas, pasos, duración, variables) se aplicó la teoría general de los sistemas. Esto permitió analizar de manera integral las características geológicas y mineras de la región, las normativas de estandarización ISO 9001-2015, el sistema de gestión de la calidad de la UBM-ECG, documentos legales exigidos, así como las principales los problemas presentados y las variables que influyen en la explotación sostenible del sistema de secado solar.

3.1. Diseño del procedimiento

Para el diseño del procedimiento se tuvo en cuenta que la sostenibilidad del sistema de secado solar es función de variables que intervienen antes, durante y después de su explotación (ecuación 1; Guerrero-Almeida, 2025), es decir: climáticas (lluvia, temperatura, humedad, radiación solar y el viento); geológicas (hidrogeología, procesos de meteorización y tectónicos del macizo rocoso); geotécnicas (ángulos de fricción y cohesión de los suelos), tecnológicas (caracterización del material, parámetros exigidos para la construcción de plazoleas, homogenización, manejo de recursos, planeación, control y monitoreo), económicas (costo de las plazoleas, ahorro

energético, incremento de la producción,) y sociales (empleo de investigaciones, uso para otros fines, otras)

$$f(IS) = \sum_{i=1}^n (C_i + G_i + I_i + T_i + E_i + S_i) \tag{1}$$

Donde: *IS*- Índice de sostenibilidad del sistema de secado solar, %

C_i- Influencia de las variables climáticas, %

G_i- Influencia de las variables geológicas, %

I_i- Influencia de las variables geotécnica, %

T_i- Influencia de las variables tecnológicas, %

E_i- Influencia de las variables económicas, %

S_i- Influencia de las variables sociales, %

El procedimiento inicia con la revisión de la información existente sobre el área y continúa con la caracterización del material estéril a utilizar, construcción y caracterización geotécnica del terraplén de prueba, análisis e interpretación de datos y elaboración de informe, construcción, certificación, entrega y explotación sostenible de las plazoletas. En él se incluye un sistema de control y monitoreo interno que sirve para detectar deficiencias y proponer medidas oportunas para alcanzar mejores indicadores de calidad y proyectar un proceso tecnológico minero metalúrgico eficiente y eficaz (Figura 4).

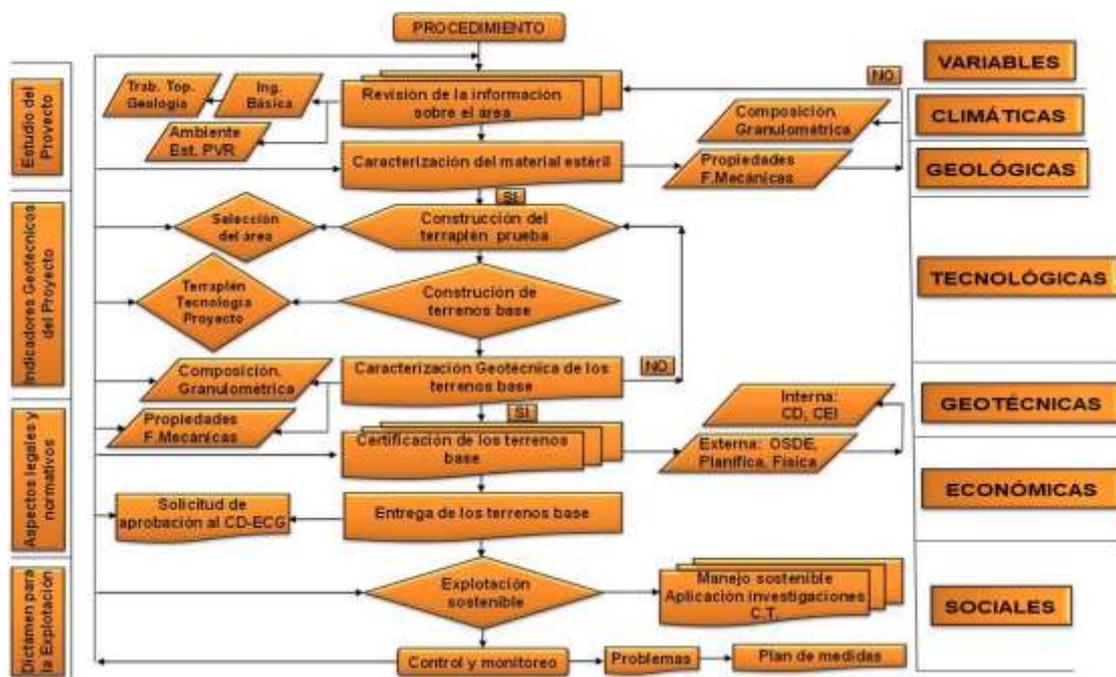


Figura 4. Procedimiento para la explotación sostenible del sistema de secado solar de menas lateríticas (adaptado de Fonseca-Aguilar, 2024).

3.2. Aplicación del procedimiento

El procedimiento fue implementado desde 2019 hasta el 2023 en la UBM-ECG, período en el cual se contó con el apoyo de las instalaciones y laboratorios de la ECG, la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL) y el Centro de Desarrollo de Investigaciones del Níquel (CEDINIQU). Los resultados alcanzados en cada etapa fueron los siguientes:

1. *Revisión de la información y ubicación del área de los terrenos base*

En esta etapa se revisaron los proyectos de ingeniería de detalle, informes geológicos y mineros, se caracterizaron las principales variables climáticas, geológicas, relieve, frentes de extracción más cercanos, composición mineralógica, entre otras, para la construcción y montaje de nueve plazoletas que abarcan un área de 63.1 Ha. Las plazoletas solares se ubicaron dentro del área de la concesión minera del yacimiento Punta Gorda en los Bloques R, Q y P, con los cuadrantes R51-53, Q52-54, y P52-55, así como los S51-53, O53-55, N-53-54 de ser necesario. Todos autorizados por la Oficina Nacional de Recursos Minerales.

2. *Caracterización del material estéril empleado para la construcción de los terrenos base*

Una vez definida el área de cada plazoleta, se determinaron parámetros geotécnicos como el ángulo de fricción y cohesión de los suelos y tecnológicos como la caracterización del material, manejo de recursos, así como las propiedades morfológicas y funcionales de los escombros, con el objetivo de conocer su grado de resistencia y fiabilidad. El material estéril empleado en su construcción fue procedente del escombreo, otros terrenos, frentes de extracción de las labores de destape, cantera de préstamo y de taludes excavados en las mismas plazoletas.

3. *Construcción del terraplén de prueba y características geotécnicas*

En esta etapa se realizaron los movimientos de tierra e investigación geotécnica del suelo, con la finalidad de controlar sus parámetros de compactación más eficientes. Al material empleado se le determinó las densidades húmedas (f) y secas ($d_{m\acute{a}x}$), así como el porcentaje de compactación. Su ejecución estuvo precedida por la limpieza del área de localización del terraplén, carga, acarreo, riego del material estéril en la zona de trabajo, determinación del espesor de la capa, delimitación de las líneas a compactar, chequeo de las frecuencias de pases (entre 4-8) y de la velocidad del compactador. Fueron utilizados, además, una retroexcavadora, dos

bulldozers 250-350 HP, un cargador frontal de 4,5 m³-6 m³, tres camiones Volvo, una motoniveladora y un camión cisterna de la UBM.

4. Construcción de los terrenos base

Esta etapa se inició con el levantamiento topográfico del área y traslado del escombro (estéril). Durante los trabajos de terraplén se empleó un Topador de estera (Komatsu) para preparar el área. El material estéril se transportó a través de camiones desde el área de préstamo hacia la plazoleta. Con el Bulldozer se realizó el acarreo del material depositado por capas de 30 cm de espesor. Luego, el material fue compactado para lograr capas resistentes, con exigencia máxima de calidad (ocho pases), aplicando el riego de agua sobre las capas ya conformadas (Figura 5).

Para acceder a las plazoletas, más adelante se incluyeron los trabajos de construcción de caminos mineros auxiliares, de acuerdo con sus especificaciones técnicas y de proyectos. Finalmente se realizó la nivelación del terraplén, certificado del cierre de combustible, levantamiento topográfico y diseño de los modelos digitales del terreno.



Figura 5. Construcción de los terrenos base. Fuente: Fonseca-Aguilar (2024).

5. Caracterización geotécnica de los terrenos base del secado solar

Como parte del sistema de control de la calidad de la empresa y del procedimiento establecido, se determinaron las propiedades morfológicas y funcionales de los escombros empleados (ECG, 2023). A través de estudios geotécnicos, se pudo conocer su grado de resistencia y fiabilidad para el rehincho en cada capa de los terrenos base (Fonseca-Aguilar, 2024). Entre las principales características geotécnicas determinadas (Tabla 1) se

encuentran su granulometría, peso específico y plasticidad [límite líquido (L.L.), límite de plasticidad (L.P.) e índice de plasticidad (I.P.)].

Tabla 1. Principales propiedades físicas determinadas al material estéril empleado para la construcción de los terrenos base

Granulometría	Valor (%)	Peso específico de los suelos (KN/m ³)	Plasticidad (%)		
			L.L.	L.P.	I.P.
Grava	33,2	35,5			
Arena	29,4		50,00	41,57	8,43
Limo, arcilla	37,4				

En esta etapa, se realizaron además otras investigaciones geotécnicas *in situ*, para conocer su densidad, (v^d), humedad (w) y compactación (Comp.), alcanzándose los siguientes resultados (Tabla 2).

Tabla 2. Características geotécnicas del terraplén de prueba

Ensayos <i>in situ</i>				Comp. (%)
v^f (kn/m ³)	W (%)	v^d (kn/m ³)	Numero de pases	
18,4	20,4	15,3	4	95,4
19,8	26,6	15,6	6	97,3
19,9	21	16,4	8	100

De igual manera, en la fase constructiva final de los terrenos base, se realizaron mediciones para determinar su comportamiento geotécnico a través de un muestreo aleatorio simple del suelo y ensayos de compactación, con lo cual se pudo comprobar la calidad de los materiales empleados y de los trabajos topográficos realizados.

6. Certificación de los terrenos base

Para la certificación de los terrenos base o plazoletas se chequeó el cumplimiento de sus parámetros tecnológicos. Para ello fue creada una Comisión empresarial, con la participación de profesionales de diferentes especialidades, la cual verificó el cumplimiento y legalidad de la documentación referente a la ejecución, contabilización y control de los trabajos constructivos que se realizaron durante el proceso inversionista.

Se aprobó que el objeto constructivo (plazoleta) con alta parcial puede ser explotado de forma independiente y, por tanto, se certificó como activo fijo tangible de la UBM-ECG con un valor monetario que oscila entre 500 000 CUP y 1 230 000 CUP. Seguidamente, se realizó la revisión del expediente correspondiente al sistema de secado solar por los organismos rectores, para obtener los dictámenes correspondientes, pues el mismo cumple los aspectos

establecidos en el Decreto Ley 327. Por último, fueron aprobados el alta parcial a la contabilidad y certificado de habitable-utilizable, por la Dirección Provincial de Planificación Física (IPF).

7. Entrega de los terrenos base

En esta etapa el constructor entregó la documentación (expediente final) al inversionista (UBM-ECG), donde se certificaron los metros cuadrados que ocupa cada plazoleta, según Proyecto Ejecutivo. Se anexaron los levantamientos topográficos, informes de resultados de ensayos de suelo de compactación y fotos de las plazoletas en sus diferentes etapas de ejecución. Luego, se solicitó al Consejo de Dirección de la ECG, Comité Económico Contratación Inversiones y Comité Económico de Inversiones, el Acuerdo de utilizar las plazoletas para el llenado del mineral (explotación), el cual, una vez aprobado, fue entregado al concesionario (Figura 6).



Figura 6. Plazoleta terminada, lista para el uso del secado solar de las lateritas, Fuente: Fonseca-Aguilar (2024).

8. Explotación sostenible de los terrenos base

Con el alta parcial de las plazoletas terminadas, se comenzó a depositar mineral en ellas, según contenido y calidad del mineral (Ni, Co, Fe, Fe_2O y Si_2O), en hileras para conformar las pilas, cumpliendo con el esquema de almacenamiento previsto en el proyecto y garantizando la disminución de la humedad en dichos depósitos (Figura 7).



Figura 7. Operaciones en las plazoletas de secado solar. Fuente: Fonseca-Aguilar (2024).

De igual modo, en esta etapa se solicitó al Consejo de Dirección de la empresa potenciar la implementación de otras investigaciones de autores como Estenoz (2009), Retirado-Mediaceja (2012) y Regalado-Urquía (2023), que proponen, además, la modelación matemática del proceso de secado solar, el uso sostenible de la tecnología del manejo, remonte y remoción del secado solar y eólico con el empleo de equipos mineros altamente productivos, entre otras.

9. Control y monitoreo

El procedimiento incluyó un sistema de control y monitoreo desde el inicio de las operaciones de la inversión. En esta etapa se identificaron insuficiencias que permitieron tomar medidas oportunas durante la explotación del sistema de secado solar. Una vez trasladado el mineral, se realizaron los trabajos de mantenimiento de las plazoletas a través del levantamiento topográfico, el control de la homogenización del mineral almacenado y su humedad de entrada promedio en las plazoletas la cual no debía superar el 37,95 %. Después de removerlo, su humedad disminuyó hasta un 33,00 %, lo que representó un 4,95 % de reducción con relación a la de entrada y un ahorro de fuel oil en los Secaderos, así como un mejoramiento de la eficiencia metalúrgica de la fábrica ECG (Fonseca-Aguilar, 2024; Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la implementación del procedimiento

Indicador	Años			
	2020	2021	2022	2023
Ahorro electricidad (MWh/año)	6 534,8	7 824,4	8 663,7	9 062,4
Producción promedio de Ni + Co (t)	72,6	109,2	130,4	167,2

Finalmente, como parte de la sostenibilidad del sistema, se le propuso a la UBM-ECG que una vez culminada sus funciones y agotadas las reservas de mineral laterítico de los yacimientos concesionados, se usaran esas construcciones mineras para otros fines (almacenes, viviendas, organopónicos, otros), teniendo en cuenta su eficiencia, viabilidad económica y los impactos ambientales y sociales que produce cada propuesta (Guerrero-Almeida *et al.*, 2024). Asimismo, se señaló la necesidad de rehabilitar estos terrenos y la construcción de nuevas instalaciones mineras para la explotación de otros yacimientos.

4. CONCLUSIONES

- Con el procedimiento propuesto se identifican las principales variables climáticas, geológicas, ingenieriles, tecnológicas, económicas y sociales que influyen en la construcción y montaje de nueve plazoletas que abarcan un área de 63,1 ha y forman parte del sistema de secado solar de menas lateríticas de la Unidad Básica Minera en la empresa niquelera *Ernesto Che Guevara*.
- Durante su implementación en 2019-2023, se identifican los problemas presentados antes, durante y después de la explotación del sistema de secado solar, lo que facilita la implementación de un conjunto de medidas que conducen a mejores resultados en el proceso metalúrgico de la ECG de Moa.
- Los resultados son de mucha utilidad al garantizar la selección, diseño, construcción, caracterización, certificación, entrega, explotación sostenible, control y monitoreo de estas construcciones mineras, necesarias para garantizar un proceso minero-metalúrgico eficiente y eficaz, así como para perfeccionar el sistema de control de la calidad en la Unidad Básica Minera en la empresa niquelera *Ernesto Che Guevara*.

5. AGRADECIMIENTOS

Es justo agradecer a los trabajadores y especialistas pertenecientes a la Dirección de Inversiones y la Unidad Básica de la Mina de la empresa *Ernesto Che Guevara*, así como a los profesores de los Departamentos de Minas y de Geología de la Universidad de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", por su incondicional apoyo para el desarrollo de esta investigación.

6. REFERENCIAS

- Almaguer-Carmenates, Y. (2005). *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda*. (Tesis doctoral, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba). 134 páginas.
- Empresa *Ernesto Che Guevara* (ECG). (2023). Sistema de gestión de la calidad. Moa. Holguín. Cuba. 55 páginas.
- 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. Cuba.
- Fonseca-Aguilar, R. (2024). *Procedimiento para la explotación sostenible de los terrenos base del sistema del secado solar de la empresa Ernesto Che Guevara*. (Tesis de Maestría, UMOA, Holguín, Cuba). 93 páginas.
- García-De La Cruz, M. I. (2018). *Procedimiento para el remplazo de equipos mineros en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. (Tesis doctoral, UMOA, Holguín, Cuba). 100 p.
- Guerrero-Almeida, D., Valdez-Meriño, Y., Cuesta-Recio, A., Almenares-Reyes, R. S., Urgelléz-Cardoza, R., Mestre-Lamorú, J. y Calzadilla-Reyes, W. (2024). Fortalecimiento de capacidades para la gestión del conocimiento y el desarrollo local sostenible en comunidades mineras, (GECOMIN). Proyecto de Desarrollo Local (PDI), UMOA. Holguín. Cuba.
- Guerrero-Almeida D. (2025). Investigación de los Procesos Productivos. Curso de la Maestría en Minería. VII Edición. Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez. UMOA. Holguín. Cuba. Material en soporte digital. 15 pág.
- Regalado-Urquía, Y. (2023). *Perfeccionamiento de la conformación y manejo de las plazoletas de secado solar de la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara"*. (Trabajo de diploma, Universidad de Moa). 61 páginas.
- Retirado-Mediaceja, Y. (2012). *Modelación matemática del proceso de secado natural de las menas lateríticas*. (Tesis doctoral, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba). 183 h.
- Retirado-Mediaceja, Y., Legrá, A., Gilbert, A., Salazar, E., Salazar, J. & 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.

Retirado-Mediaceja, Y., Laurencio-Alfonso, H. L., Salazar-Corrales, M. F., León-Segovia, M. Á., Falconí-Borja, M. A., & Vega-Peñañiel, J. P. (2018). Perfeccionamiento de la tecnología de secado natural de la mena laterítica. *Minería y Geología*, 34(2), 199-213.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual.

ORCID

DGA, <https://orcid.org/0000-0002-3962-7463>

RFA, <https://orcid.org/0009-0001-2836-6077>

JACF, <https://orcid.org/0009-0000-8053-6064>

Recibido: 01/06/2025

Aceptado: 09/07/2025