

Procedimiento para el cierre de canteras de materiales para la construcción en Cuba

Julio Montero-Matos
José Otaño-Nogel
Diosdanis Guerrero-Almeida

Resumen

Con el propósito de facilitar a los concesionarios de canteras de materiales para la construcción una herramienta metodológica para efectuar el cierre de estas y garantizar una minería sostenible se propuso un procedimiento en seis etapas a partir del diagnóstico realizado en 22 canteras, ubicadas en tres regiones mineras cubanas. El procedimiento busca disminuir los impactos ambientales provocados por la explotación de las canteras y ofrecer a la industria un estándar para lograr uniformidad en la planificación y ejecución del cierre con un costo mínimo.

Palabras clave: cierre de minas; explotación de canteras; minería sostenible; impacto ambiental

Procedure for the decommissioning of construction material quarries in Cuba

Abstract

In order to provide the owners of construction material concessions with a methodological tool that was not available until today to deal with mine decommissioning and to ensure a sustainable mining, it is proposed to implement a six-phase procedure based on the analysis carried out on 22 quarries located in three mining areas of Cuba. The procedure is to reduce environmental impacts caused by the exploitation of quarries and provide the industry with a standard procedure to achieve uniform closure planning and execution at a minimum cost

Keywords: mine decommissioning, quarry exploitation; sustainable mining; environmental impact.

1. INTRODUCCIÓN

El gran desafío del sector minero y de los gobiernos es cómo desarrollar una minería sustentable que garantice las necesidades actuales de la sociedad, sin poner en riesgo la de las futuras generaciones y al mismo tiempo, proteger el medio ambiente (Montero-Matos & Otaño-Nogel 2012).

La sustentabilidad de la industria minera descansa sobre bases económicas, ambientales y sociales. Cada uno de estos aspectos debe ser considerado por separado, aunque una solución sustentable requiera la integración de los tres aspectos (Richards 2002).

La aplicación a escala regional, nacional y local de metodologías e instrumentos jurídicos para el cierre sustentable de las minas ha adquirido relevancia en la actualidad justamente porque reflejan, en síntesis, el conflicto entre la minería, la sociedad y el ambiente (Guerrero & Figueredo 2010).

La explotación de materiales para la construcción también se incluye dentro de las actividades mineras, que afectan al medio ambiente cuando no se aplican planes efectivos de cierre (Montero-Matos & Otaño-Nogel 2012).

En Cuba se explotan grandes, medianas y pequeñas canteras lo cual provoca un fuerte impacto al medio ambiente. Esta actividad puede compensar los daños socioeconómicos y ambientales cuando se utilizan planes de cierre mineros efectivos desde la confección del proyecto de explotación de estos recursos. Se han dado pasos importantes hacia la protección ambiental a partir de la aprobación de leyes y decretos que regulan la política minera y el proceso de rehabilitación de los llamados pasivos ambientales. Entre estas herramientas legales se citan: Ley de Medio Ambiente, Ley de Minas, Ley Forestal, Decreto-Ley 268/99 y el Decreto-Ley 179, entre otras (Guerrero *et al.* 2014).

Lo anterior, aunque demuestra la existencia de normativas jurídicas y legales que procuran la necesaria protección de los georrecursos, no garantiza por sí solo herramientas capaces de lograr la explotación eficiente y el cierre sustentable de los yacimientos, en particular los de materiales para la construcción (Chacón 2012).

El cierre de minas es un proceso que debe contemplarse en todas las fases del proyecto minero desde la evaluación de impacto ambiental que se realiza para la ejecución de cualquier proyecto minero. El proceso se mantiene activo durante toda la vida útil de la mina y aunque el cierre es parte importante y necesaria de todo proyecto minero y Cuba posee una larga tradición minera, no existe un procedimiento exclusivo para este tipo

de minería (no metálica), por lo que solo se aplican varios artículos de la Ley de Minas y su reglamento, pero no se incluye el cierre dentro del proyecto de explotación ni se tiene en cuenta el ciclo de vida de la cantera.

Por otro lado, se adolece de falta de elementos importantes como los antecedentes de costos económicos asociados al cierre de minas, debido a que existe una dispersa y, muchas veces escasa, información orientadora sobre los antecedentes de los planes de cierre, lo que se atribuye a la poca experiencia existente en el país respecto a este tema.

Los documentos que existen solo se refieren a los tipos de cierre y a la obligatoriedad del cumplimiento de su ejecución, pero no explicitan la manera de regularlo mediante procedimientos normativos. Los concesionarios se limitan a incluir, dentro del proyecto de explotación, un capítulo donde se hace referencia a la necesidad del cierre, pero no se incluye el proyecto de ejecución del mismo debido a la inexistencia, hasta la fecha, de un procedimiento de cierre para las canteras de materiales para la construcción que sirva como guía a la toma de decisiones para el logro de la sostenibilidad.

El presente trabajo tuvo el propósito de diseñar un procedimiento sustentable de cierre para canteras de materiales para la construcción, a partir del diagnóstico realizado en 22 canteras de tres regiones mineras de Cuba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para diseñar el procedimiento se realizó el diagnóstico en tres regiones mineras cubanas donde se ubican 22 canteras. Se revisaron los datos de los proyectos de explotación de los 22 yacimientos minados actualmente a cielo abierto en las provincias de La Habana, Matanzas y Santiago de Cuba (Figuras 1 y 2), para determinar sus características geológicas y mineras, afectaciones al medio ambiente, reservas estimadas, uso previo del suelo de la cantera, nivel de productividad de las mismas, posibles usos del área explotada y estado de los proyectos de cierre presentados a la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM).

Para precisar las afectaciones ambientales se siguió la secuencia lógica que imponen los procesos de identificación, caracterización y valoración de los impactos ambientales ocasionados por el cierre o abandono de la explotación minera y se analizaron los factores que influyen en la elección de los métodos de recuperación de áreas minadas en la zona de estudio.

El análisis documental, estudios de caso y criterios de expertos se aplicaron para revisar la información disponible de cada cantera, identificándose sus

principales características y las medidas técnicas a aplicar durante el futuro cierre.

De igual modo se consultaron diferentes investigaciones referentes al tema (Montes de Oca & Ulloa 2013; Fuentes 2013; Ponce-Seoane & Díaz-Comesañas 2013; López *et al.* 2012 y Hernández 2013), así como otros documentos relacionados con la caracterización geológica y minero-ambiental de las canteras, suministrados por la dirección de las empresas mineras. A partir de esta revisión, y tomando en cuenta el criterio de 23 expertos nacionales e internacionales, se seleccionaron seis canteras (Tabla 1) actualmente en explotación.

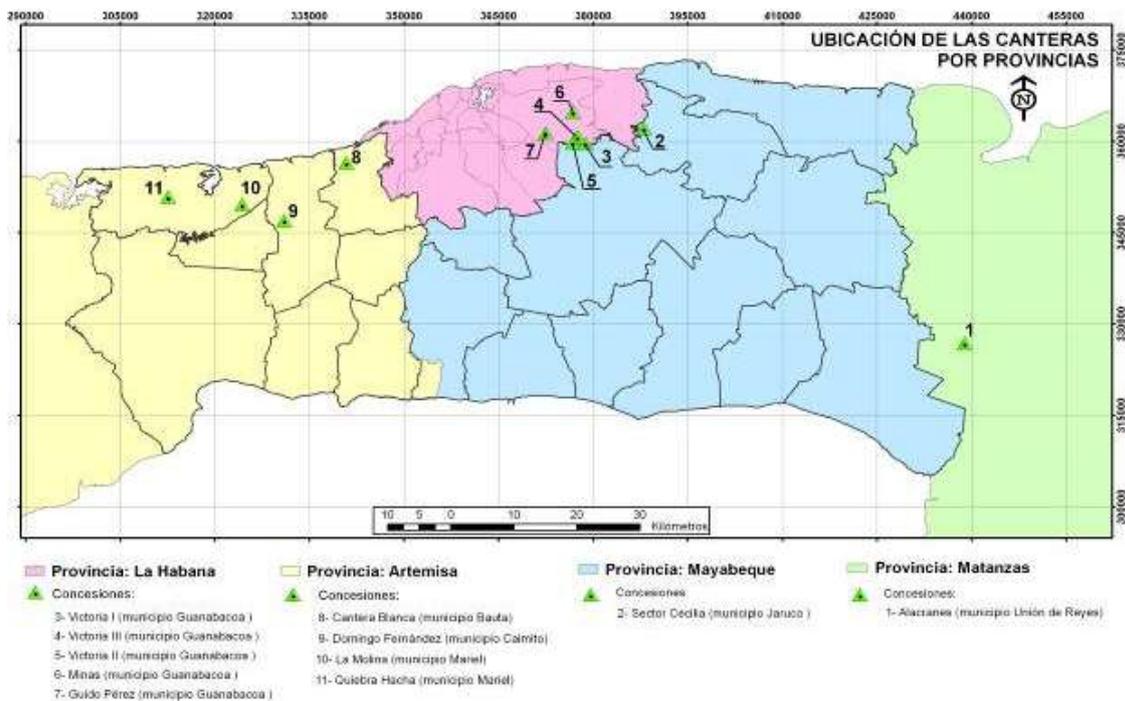


Figura 1. Ubicación geográfica de las 12 concesiones mineras de explotación. Adaptado de López *et al.* 2012.

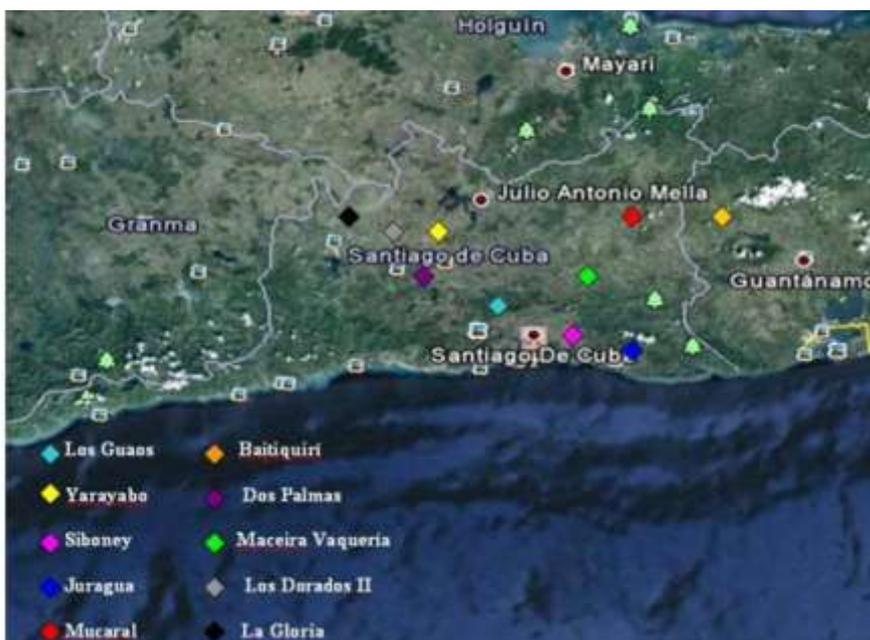


Figura 2. Ubicación geográfica de 10 concesiones mineras de explotación. Adaptado de Montes de Oca & Ulloa (2013).

Tabla 1. Descripción de las canteras estudiadas

Nombre de la cantera	Provincia	Categoría	Materia prima explotada	Usos
Guido Pérez	La Habana	Yacimiento	Calcarenitas	Arena
Victoria II	La Habana	Yacimiento	Calcarenitas	Arena
Cantera Blanca	Artemisa	Yacimiento	Caliza	Cal e hidrato de cal, Polvo, Macada
La Molina	Artemisa	Yacimiento	Piedra	Macada, gravilla, granito, polvo y arena lavada
Alacranes	Matanzas	Yacimiento	Caliza	Cal e hidrato de cal, Polvo, Macada
Los Guaos	Santiago de Cuba	Yacimiento	Porfirita	Macada, gravilla y arena lavada

2. 1. Caracterización de las canteras

Canteras Guido Pérez y Victoria II

En estos yacimientos están presentes los dos niveles estructurales: el cinturón plegado cubano, representado por el complejo de rocas efusivas-sedimentarias, así como las ofiolíticas y el neautóctono, constituido por un complejo terrígeno y terrígeno carbonatado de génesis clástico. Este último está representado por calizas, calcarenitas y areniscas asociadas a la Fm. Peñalver, que descansan sobre el complejo de rocas efusivas sedimentarias y ofiolíticas; litologías que han dado origen a un relieve diferencial, sobre una estructura geológica compleja, que expresa muy bien su modelo geológico y tectónico que lo subyace, lo que la ubica en específico en la unidad morfotectónica del arco volcánico del cretácico.

Estas canteras son productoras de surtidos de hormigón, granito, gravilla, polvo y recebo. El proceso tecnológico es totalmente mecánico y existen dos variantes (seco y con beneficio húmedo), ambos compuestos por áreas de machaqueo, molidas y selección.

Cantera Blanca y La Molina

Al igual que en las anteriores, en los dos centros de producción se obtienen surtidos de hormigón, granito, gravilla, polvo, arena y recebo. El proceso tecnológico de producción es totalmente mecánico, existen dos variantes (seco y con beneficio húmedo), ambos compuestos por áreas de machaqueo, molidas y selección.

En Cantera Blanca la litología del frente de trabajo es homogénea, compuesta por calizas organogenias puras, porosas, duras, compactas, fragmentarias, recristalizadas y blancas principalmente. El yacimiento en la parte superior del corte está compuesto por calizas masivas de color gris blanco con un espesor estimado en la cantera de unos 10 m. Se observa la presencia de procesos de carsificación con el desarrollo de cavernosidad y procesos sofusivos. Debajo de estas calizas se observan calizas blancas, más blandas, con una estructura monoclinial y estratificación, con suave buzamiento de 20° al norte.

En la cantera La Molina la roca que se explota es una caliza de color negro, dura, compacta, con vetillas de calcita de color blanco y se observan manchas de asfalto en zonas de fracturas. El macizo rocoso se caracteriza por presentar un desarrollo del carso y varias cavernas. Existen zonas donde se aprecian caliza criptocristalina-arcillosa de color gris oscuro, compactas, masiva, con vetillas y grietas con calcita, órganos detríticos, fragmentados con grietas e impregnaciones ferrosas pelitomórficas.

El frente de cantera es alargado, con una extensión frontal de 200 m de ancho aproximadamente, una orientación este-oeste (E-W) y se mantiene en esta dirección con este tipo de roca, observándose en los flancos el aumento de la presencia de estéril (suelo, rocas menos compactas). Esta situación se documentó en el flanco (oeste), con una zona de fallas que limita el cuerpo mineral y la operación minera, con la presencia de pliegues, estratificación y cambios bruscos del buzamiento, con fuerte esquistosidad.

El frente está desarrollado en tres niveles de explotación con orientación de norte-sur (N-S) que abarcan las cotas +104, +92, +86 +80. Recientes estudios geológicos avalan reservas en varias categorías por aproximadamente 7 millones de toneladas.

La cantera cuenta con tres modernas plantas de procesamiento que surten al cliente de macada, gravilla, granito, polvo y arena lavada, además de toda la infraestructura (laboratorio, comedores, almacenes, etc.) y se observa un intenso nivel de actividad, laborando las 24 h. La ubicación de las mismas, y cotas elevadas del terreno, hacen que los vientos predominantes de N-S en la región transporten el polvo generado. Constituye la principal fuente de suministro de varios surtidos de materiales de alta calidad al proyecto de interés nacional del puerto del Mariel.

Cantera Alacranes

La explotación a cielo abierto de este yacimiento se desarrolla sobre calizas duras que ocupan la parte superior del corte litológico. Las rocas presentan agrietamientos y cavernosidades en los estratos, así como un horizonte margoso masivo y agrietado en la parte inferior. El mineral está compuesto por calizas biogénicas detríticas dolomitizadas de color blanco, con gran cantidad de micro y microfósiles. Su génesis bioquímica está representada por dolomita calcárea de grano fino y de color gris claro.

La cantera cuenta con un centro de producción, en el que se obtienen granito, gravilla, polvo y material de relleno. El proceso tecnológico de producción es totalmente mecánico, compuestos por áreas de machaqueo, molida y selección.

Cantera Los Guaos

Se ubica en la provincia de Santiago de Cuba a 5 km al oeste de la ciudad capital. Su explotación comienza en enero de 1978 y se mantiene hasta la actualidad, por lo que lleva 35 años activa. Sus plantas constituyen las principales abastecedoras de áridos en la provincia de Santiago de Cuba.

El yacimiento está dividido en tres zonas de laboreo: Guaos I, cuyas reservas están agotadas; Guaos II, que es el que se explota actualmente; y

Guaos III, en fase de desarrollo. El relieve en la región se puede clasificar como semimontañoso, cuyo origen se relaciona con procesos tectónicos y erosivos. Al este del yacimiento se presentan las cotas más altas con valores de 231 m sobre el nivel del mar. Las cotas mínimas son de 50 m, lo que se aprecia al oeste, donde el relieve es más ondulado.

La red hidrografía la forman los ríos Guaos y Gascón y algunos arroyos. Estos ríos, con una dirección norte-sur, son de carácter intermitente en época de estiaje. La fuerza erosiva de los ríos es limitada debido a la pendiente longitudinal suave que presentan.

El material que se extrae en la cantera es la porfirita de color gris-verdosa, compacta, maciza en muchas partes, con visible agrietamiento natural. La resistencia a la compresión presenta un valor mínimo de 800 kg/cm² y máximo de 1 200 kg/cm², un peso volumétrico entre 2,55 g/cm³ y 2,61 g/cm³, seco y saturado, respectivamente, y una absorción de 2,8 %. El coeficiente de esponjamiento es de 1,5 a 1,8.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio y caracterización de las seis canteras analizadas evidenció gran diversidad en las variantes de cierre mineros propuestos para las canteras, así como la no observancia de una secuencia lógica de las actividades técnicas requeridas en un cierre, bien sea por desconocimiento de las leyes y normativas vigentes, o por la ausencia de un presupuesto planificado desde el proyecto de explotación. Se reveló, además, dificultades con la planificación y ejecución del cierre por desconocimiento de cómo ejecutarlo por la ausencia de estándares conocidos que detallen cómo proceder en cada caso.

Del análisis de las seis canteras se registraron las siguientes dificultades:

- Deficiente control técnico y manejo de los pasaportes de perforación-voladura, los cuales generan grandes volúmenes de roca sobre medidas y la mala ubicación de las escombreras, inutiliza parte de las reservas.
- Acumulación de pasivos ambientales.
- Explotación desorganizada condicionada por la no existencia de proyectos de explotación que genera una mayor cantidad de huecos y escombreras.
- Generación de fuertes pendientes en los taludes o paredes de la cantera, con un inminente peligro de desprendimiento de bloques gravitacionales.

- Afloramiento del agua subterránea al profundizar demasiado el nivel del piso de las canteras, creando una vía directa de contaminación a este recurso.
- Desconocimiento de un procedimiento o metodología para el cierre de minas y la obligación económico-material del concesionario.
- No existencia de financiamiento destinado a la rehabilitación al no concebirse desde el inicio un proyecto de restauración.

En las imágenes (Figura 3) se muestran frentes de trabajo abandonados en dos de las canteras estudiadas, evidenciándose la ausencia de acciones de rehabilitación, lo que conduce a que los frentes se inunden y no se aproveche íntegramente material ya explotado que queda sumergido bajo las aguas.



Figura 3. Situación actual de los frentes abandonados de las canteras Victoria II (izq) y Cantera Blanca (der).

La Tabla 2 recoge los principales impactos ambientales causados por la explotación minera en estos yacimientos y los factores que son afectados.

Tabla 2. Impactos ambientales producidos por la actividad minera en los yacimientos objeto de estudio

Acción/Actividad	Factores que se afectan	Impacto
Desbroce	Suelo Flora y Fauna Paisaje	Deforestación Alteración de la calidad visual Desplazamiento de la fauna
Destape	Suelo Flora y Fauna	Aumento de los procesos erosivos Remoción de la vegetación Desplazamiento de la fauna
Perforación, carga y voladura	Suelo Flora y Fauna Paisaje Atmósfera Aguas superficiales y subterráneas	Emisión de gases y polvo a la atmósfera Emisión de ruidos y vibraciones Alteración de la calidad del agua
Formación de escombreras	Suelo Paisaje Atmósfera	Aumento de los procesos erosivos Alteración de la calidad visual Emisión de polvo a la atmósfera
Preparación mecánica	Atmósfera Paisaje Agua	Alteración de la calidad visual Emisión de polvo a la atmósfera Emisión de ruidos y vibraciones Obstrucción y encenagamiento del río
Extracción y transporte de material	Atmósfera Paisaje Suelo Agua Flora y Fauna	Emisión de gases y polvo a la atmósfera Emisión de ruidos y vibraciones Alteración de la calidad del agua Alteración del nivel freático

3.1. Procedimiento propuesto

Teniendo en cuenta el ciclo de vida de una cantera y los factores mineros técnicos fundamentales en la explotación de estos recursos, se propone un procedimiento (Figura 4) en seis etapas para la ejecución del cierre de canteras de manera sostenible.

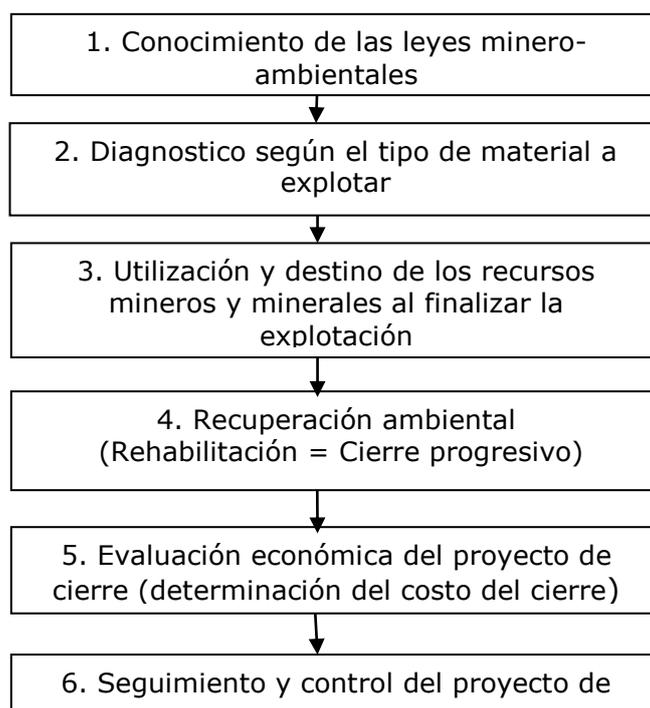


Figura 4. Procedimiento propuesto para el cierre de canteras de materiales de construcción en Cuba.

Etapa 1. Conocimiento de las leyes minero-ambientales:

Es preciso, en primer término, que los concesionarios conozcan las nueve leyes, siete decretos y diez resoluciones que norman y regulan la actividad minero-ambiental vinculada al proceso de cierre, lo cual permitirá un accionar legal para un cierre sostenible.

Etapa 2. Diagnóstico según el tipo de material a explotar:

Se realizará un diagnóstico general de las canteras que permita tener una valoración general de la situación minero-ambiental de cada concesión minera para la futura toma de decisiones respecto al cierre de minas. Los aspectos fundamentales de esta etapa son:

1. Análisis del ciclo de vida de la mina y ubicación de las etapas del cierre.
2. Descripción de las actividades mineras a realizar para la explotación del yacimiento y sus instalaciones mineras.
3. Actualización topográfica, geológica y minera del yacimiento explotado.
4. Medidas de seguridad de la mina y sus instalaciones
5. Evaluación de impacto ambiental.
6. Caracterización de los factores físicos, biológicos, socio-económicos y culturales.

7. Evaluación de riesgos.

Etapa 3. Utilización y destino de los recursos mineros y minerales al finalizar la explotación:

Se hará una propuesta de los elementos fundamentales a tener en cuenta para definir el tratamiento que recibirán los recursos mineros y minerales de las canteras; estos elementos son:

1. Reubicación del personal según su calificación personal y profesión; generalmente se ha obviado este aspecto, uno de los más importantes del cierre (Montero & Salazar 2011).
2. Conservación, desmantelamiento y destino de las instalaciones, equipos y materiales existentes.
3. Determinación del uso futuro del espacio minado.

Etapa 4. Recuperación minero-ambiental de las canteras:

Se plantearán acciones de restauración y rehabilitación de áreas dañadas por la minería, el cierre final y tratamiento a los pasivos ambientales. Los elementos a tener en cuenta en este paso son:

1. Medidas de restauración y rehabilitación del entorno dañado por la actividad minera.
2. Cierre final de la cantera garantizando la estabilidad física, química y biológica, después de las actividades mineras.
3. Descripción de las actividades a realizar en los distintos tipos de cierre.
4. Tratamiento a los pasivos ambientales.

Etapa 5. Evaluación económica del proyecto de cierre:

Se analizarán los factores económicos que permitan determinar el costo del cierre de la cantera; estos son los siguientes:

1. Estudio de mercado (precio y demanda del material)
2. Estudio técnico-económico del cierre de canteras.
3. Cálculo del costo de cierre de canteras.
4. Distribución de los recursos financieros durante las operaciones mineras.

Etapa 6. Seguimiento y control del proceso de cierre:

La última etapa garantizará el chequeo del cumplimiento de las acciones realizadas en las etapas precedentes. Las acciones a realizar son:

1. Monitoreo del tratamiento laboral y salarial dado al personal técnico y profesional que laboraba en las canteras.
2. Monitoreo de la estabilidad física de la cantera.
3. Monitoreo de la estabilidad química.
4. Monitoreo de la estabilidad biológica.
5. Monitoreo de la calidad de las aguas.
6. Control estructural.
7. Mantención de obras.

4. CONCLUSIONES

Se elaboró una propuesta de procedimiento para el cierre de las canteras de materiales para la construcción en Cuba, que tiene como propósito disminuir los impactos ambientales provocados por la explotación de las canteras y ofrecer a la industria un estándar para lograr uniformidad en la planificación y ejecución del cierre con un costo mínimo, asegurando la sostenibilidad de la actividad minera.

5. REFERENCIAS

- CHACÓN, Y. 2012: *Criterios para la ejecución del cierre de minas en el yacimiento Yagrumaje Sur*. Diosdanis Guerrero Almeida (Tutor). Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 92 p.
- FUENTES, R. 2013: Procedimiento para el diagnóstico y rehabilitación de canteras de materiales para la construcción. Caso de estudio: cantera La Zamora, Matanzas. Manuel A. Iturralde Vinent y Rafael Martínez Silva (Tutores). Tesis doctoral. Universidad de Pinar del Río. 100 p.
- GUERRERO, D. & FIGUEREDO, O. 2010: Impacto ambiental del método de explotación por cámaras y pilares, aplicado en el yacimiento Las Merceditas de Cuba. En: 1ra Jornada Iberoamericana de la Red Masys. Edit. Ministerio de Industria, Comercio y Trabajo de Córdoba, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Cyted. Memorias. Ayacucho, Perú, 83-98.
- GUERRERO, D.; CHACÓN, Y.; FONSECA, D. & COURT, M. 2014: Metodología para la ejecución de un cierre de minas sustentable. *Minería & Geología* 30(3): 85-103.
- HERNÁNDEZ, A. 2013: Impacto ambiental sobre las aguas subterráneas de la explotación de canteras para la construcción. Taller Sociedad Económica Amigos del País. La Habana, Cuba. 38 p.

- LÓPEZ, J.; ROCAMORA, E.; JAÍMEZ, E.; VALDEZ, G. & CAMPOS, M. 2012: Rehabilitación ambiental en zonas degradadas por la minería. *Revista Informativa Nuestro Pórtico de Calvista* Edición 15(agosto): 10-11. Disponible en: <http://www.boletinformativonuestroportico.com/>
- MONTERO, J. M. & SALAZAR, Y. 2011: La reinserción laboral tras el cierre de minas: una vía para lograr el desarrollo sustentable en la minería. *Minería & Geología* 27(4): 64-87.
- MONTERO-MATOS, J. & OTAÑO-NOGEL, J. 2012: Impacto socioeconómico y ambiental de la creación de un procedimiento para efectuar el cierre de canteras de materiales de construcción. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* noviembre 2012, 8 p. Disponible en: <http://caribeña.eumed.net/impacto-socioeconomico-y-ambiental-de-la-creacion-de-un-procedimiento-para-efectuar-el-cierre-de-canteras-de-materiales-de-construccion-en-cuba/>
- MONTES DE OCA-RISCO, A. & ULLOA-CARCASSÉS M. 2013: Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera Los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba. *Luna Azul* (37): 74-78. Recuperado de <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=846>
- PONCE-SEOANE, N. & DÍAZ-COMESAÑAS, J. 2013: Impactos y pasivos ambientales de la minería a cielo abierto en Cuba y propuestas de soluciones. Taller. IGP. Universidad de La Habana. 20 p. Disponible en: <http://www.iga.cu/noticias/taller-iga-uh.html>.
- RICHARDS, J. 2002: Sustainable Development and the Mineral Industry. *Society of Economic Geologists Newsletter* 48(1): 8-12.

Julio Montero Matos jmmatos@ismm.edu.cu

Especialista en Gestión Ambiental. Profesor Auxiliar. Departamento de Minas. Facultad de Geología y Minería. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba,

José Otaño Nogel joseot@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Departamento de Minas. Facultad de Geología y Minería. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.

Diosdanis Guerrero Almeida dguerrero@ismm.edu.cu

Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular. Departamento de Minas. Facultad de Geología y Minería. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.