

Análisis y diagnóstico de los tipos de mantenimiento en la pequeña y gran minería aurífera en la subregión del Bajo Cauca, Antioquia

J. Barrios; <https://orcid.org/0000-0002-4159-7566>. S. Calderón; <https://orcid.org/0000-0001-8885-3814>.

SENA - Centro de Formación Minero Ambiental - Regional Antioquia

Resumen— La pequeña minería aurífera en la subregión del Bajo Cauca antioqueño trabaja con un tipo de mantenimiento correctivo en emergencias, el cual conlleva a pérdidas de tiempo y dinero por daños, repuestos y equipos, articulado en gran medida a la poca mano de obra especializada que se encuentra en la zona. Por consiguiente, a través de este artículo se realiza un análisis de los tipos de mantenimiento (preventivo, predictivo y correctivo) que las empresas realizan a sus equipos y la forma como se llevan a cabo los procesos propios del área, formatos y procedimientos pertinentes a la gran minería, enfatizando en el mantenimiento RCM (*Reliability Centered Maintenance*) para mejorar las utilidades y operatividad a nivel industrial.

Palabras clave— RCM, mantenimiento, preventivo, correctivo, operatividad

Abstract— The small gold mining in the Bajo Cauca sub-region of Antioquia works with a type of corrective maintenance in emergencies, which carries to losses of time and money for damages, spare parts and equipment, largely related to the limited specialized workforce found in the area. Therefore, through this article an analysis is made of the types of maintenance (preventive, predictive and corrective) that companies implement in their equipment and the way in which the processes of the area, formats and procedures pertinent to the great mining are carried out, emphasizing in the maintenance RCM (*Reliability Centered Maintenance*) to improve the utilities and operation at industrial level.

Keywords— RCM, maintenance, preventive, corrective, operational.

Resumo— A mineração de pequeno porte na sub-região de Bajo Cauca, Antioquia, trabalha com um tipo de manutenção corretiva em emergências, o que leva a perdas de tempo e dinheiro por danos, peças sobressalentes e equipamentos, em grande parte relacionado à limitada força de trabalho especializada encontrado na área. Portanto, através deste artigo é feita uma análise dos tipos de manutenção (preventiva, preditiva e corretiva) que as empresas executam em seus equipamentos e a maneira de como são realizados os processos, formatos e procedimentos pertinentes aos

megaprojetos de mineração, enfatizando na manutenção RCM (*Reliability Centered Maintenance*) para melhoria as utilidades e operabilidade em nível industrial.

Palavras-chave— RCM, manutenção, preventiva, corretiva, operacional

I. INTRODUCCIÓN

Para el sector minero el mantenimiento de equipos es considerado como una actividad crítica en la explotación mineral, dado el impacto directo tanto en la capacidad productiva, como en las condiciones de seguridad y protección medioambiental que exigen la ejecución de cualquier proyecto minero [1].

Por lo tanto, dentro del esquema organizacional de un proyecto minero, el mantenimiento presenta subdivisiones de acuerdo a las funciones y especialidades del personal, siendo encabezadas por el ingeniero jefe de mantenimiento, encargado de liderar los proyectos y actividades para la puesta en marcha de los equipos; el jefe de ingeniería, encargado de proporcionar asistencia técnica en todas las fases del programa de mantenimiento, reparación y sustitución de elementos, estudios de eficiencia y detalles de mantenimiento preventivo; y el jefe de planificación y control, quien asigna los trabajos al personal y determina la preparación de equipos a ser utilizados de acuerdo a las necesidades y objetivo de las actividades programadas, así como la decisión de la sustitución, cambio o modificación en el equipo o máquinas y el control informático de horas y costes de averías y reparaciones [1]

De acuerdo a las necesidades y problemas que presentan los equipos y máquinas en minería, a continuación, se presentan los principales procedimientos de mantenimiento minero más habituales [1], [2]:

A. Mantenimiento Correctivo (MC)

Tipo de mantenimiento en el cual la máquina está en funcionamiento hasta que sucede una avería para luego

Jaime Luis Barrios Durango es instructor investigador en mecánica y miembro del Grupo de Investigación Minero Ambiental de El Bagre – GIMAB del Centro de Formación Minero Ambiental de la Regional Antioquia del Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Barrio Los Comodatos de Arriba, vía Zaragoza / El Bagre (correo e.: jbarrios@sena.edu.co).

Sebastián Molina Calderón es instructor investigador en minería y miembro del Grupo de Investigación Minero Ambiental de El Bagre – GIMAB del Centro de Formación Minero Ambiental de la Regional Antioquia del Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Barrio Los Comodatos de Arriba, vía Zaragoza / El Bagre (correo e.: semolina@sena.edu.co).

corregirla, posteriormente no se le prestará atención hasta que produzca otro fallo.

Se aplica en algunos casos en pequeñas canteras y obras viales de corta duración, dado que en general resulta caro y comprometido por no poder garantizarse, a mediano plazo, ni las producciones ni los costos horarios por toneladas de la mediana o gran minería [1].

B. Mantenimiento programado (MP)

Consiste en el planeamiento de revisiones para llevar a cabo un mantenimiento. Se basa en una parada periódica general de la actividad productiva, generalmente de forma anual, en donde se aprovecha cualquier receso temporal para realizar un desarmado, una lavada y una lubricación de la maquinaria, en algunos casos se aprovecha para hacer la revisión de manera general [2].

La vigilancia e inspección permite detectar y detener una falla en gestación. Sin embargo, el punto en contra de este tipo de mantenimiento es que la maquinaria puede quedar equivocadamente armada o con ajustes que difieren con los realizados de fábrica.

Por extensión, se le da el nombre de mantenimiento programado al que se ejecuta en cualquier lapso de parada de la producción.

C. Mantenimiento preventivo

Por medio de inspecciones periódicas se evalúa el estado de la máquina y se programan las correcciones necesarias para ser ejecutadas en el momento más pertinente y antes de que lleguen a producirse averías.

D. Mantenimiento predictivo

Está basado en las técnicas de inspección o de reconocimiento de la máquina, por medio de las cuales se determina el desgaste de esta a lo largo del tiempo.

A través de extrapolaciones se predice el punto y momento de falla del equipo, siendo una forma más precisa y correcta que una fijación estadística del momento de sustitución, tal como sucede en los programas normales de mantenimiento preventivo.

E. Mantenimiento continuo

Es un tipo de organización que se puede dar al mantenimiento priorizando las actividades que se le dan a las máquinas según su importancia y basados en el concepto que entre mejor se atiende un equipo, así será su desempeño.

F. Mantenimiento analítico

Corresponde preponderantemente al análisis de las estadísticas de falla y analiza la causa raíz de ella, revisando las recomendaciones del fabricante, condiciones de instalación del equipo y calidad de mano de obra de quienes lo operan, lo cual posiciona al mantenimiento analítico del tipo preventivo.

G. Mantenimiento productivo total (TPM Total Productive Maintenance)

Es aquel en donde el operario de producción atiende el mantenimiento preventivo de su unidad productiva, al tiempo que se involucra la totalidad del personal de la mina.

H. Mantenimiento basado en la condición (CBM Condition Based Maintenance)

Estrategia de mantenimiento que utiliza la condición real de la máquina para decidir lo que hay que hacer en el mantenimiento. Busca que el mantenimiento se realice solamente cuando ciertos indicadores muestran signos de disminución de rendimiento o inminente fracaso. Algunos indicadores pueden incluir mediciones como: inspección visual, datos de eficacia y pruebas programadas [2].

I. Mantenimiento basado en la fiabilidad (RCM Reliability Based Maintenance)

En este tipo de mantenimiento el énfasis se encuentra en el funcionamiento del sistema más que en el de cada equipo de manera individual, de allí se busca la falla a partir del principio de confiabilidad (*reliability*). Esta se basa comúnmente en la característica Fiabilidad que posee un equipo y mediante la cual es posible evaluarlo en términos cuantitativos. El conocimiento de la confiabilidad y la disponibilidad (*Availability*) de un equipo permite planear y predecir la producción e incluso tener planes de contingencia [1], [2].

II. MINERÍA EN EL BAJO CAUCA

La subregión del Bajo Cauca se encuentra localizada al norte del departamento de Antioquia, posee una extensión de 8.485 km² y está conformada por los municipios de Cáceres, Cauca, El Bagre, Nechí, Tarazá y Zaragoza, en donde se ejecutan proyectos mineros a gran escala, tales como Mineros S.A., Operadora Minera S.A.S. y MINERAS FOUR POINTS S.A.S., proyectos de pequeña minería en proceso de formalización, tales como EMIJOM S.A.S. y EMINCUT S.A. y minería de subsistencia. Además, minería informal en dragas por los principales ríos de la región [3].

Geográficamente la mayor parte de la subregión corresponde a llanuras aluviales que se abren en las estribaciones de la Cordillera Central, entre las serranías de Ayapel y de San Lucas, con alturas que varían de los 30 a 1.200 m.s.n.m. [5]. La evolución geológica del Bajo Cauca permitió la generación de depósitos aluviales con un alto contenido de oro, definidos como *Placeres*, en los cuales se realiza minería a cielo abierto y dragado, permitiendo la puesta en marcha del sector minero a pequeña y gran escala, en donde se implementan una serie de equipos y herramientas que deben resistir las condiciones ambientales de la selva húmeda tropical, principalmente en la zona asociada a los antiguos depósitos aluviales al margen de los ríos Cauca y Nechí, tal como se indica en la Fig. 1 [3], [5].

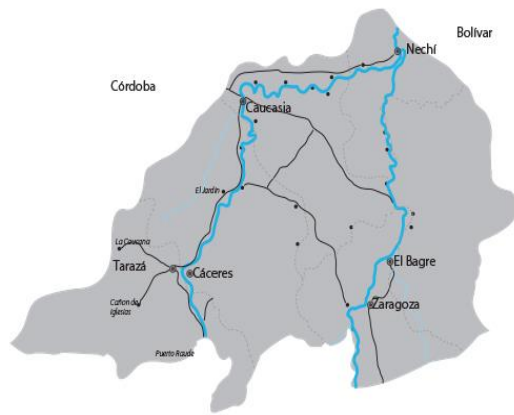


Fig. 1. Subregión del Bajo Cauca Antioqueño.

La gran minería del Bajo Cauca realiza un trabajo planificado, basado en la disminución de horas de parada en el taller o en el campo, con el propósito de prevenir averías mediante un mantenimiento preventivo, en donde es preferible sacrificar horas programadas que generar paradas incontroladas y de mayor duración; para lo cual se realiza un mantenimiento programado, en donde se diferencian dos criterios organizacionales para corregir una falla inevitable antes o después de que se produzca, ya sea a través de un mantenimiento preventivo planificado, o por medio de un mantenimiento correctivo de intercambio de conjuntos completos, tanto en horas calculadas como límites de vida y averías y/o reparaciones [1], [4].

El esquema organizacional en el mantenimiento de equipos en minería ha permitido que las UPM (Unidades de Producción Minera) legalmente constituidas aporten entorno al 2% del PIB nacional, generando más de 8 billones de pesos en regalías desde el año 2012 [3].

De esta manera, al analizar la metodología de trabajo del sector minero, el mantenimiento en la pequeña y gran minería aurífera del Bajo Cauca antioqueño presenta aspectos diferenciados, los cuales van desde la estructura organizacional, hasta la puesta en marcha, planificación y formalización minera, trayendo consigo un aumento en los costos tanto de producción como de mantenimiento, lo que se repercute en el mantenimiento programado en la gran minería y el mantenimiento basado en la fiabilidad en la pequeña minería de aluvión profundo, siendo el primero tendencia para la regularización y formalización de las UPM como base para una minería bien hecha [6].

III. SISTEMAS DE MANTENIMIENTO

De acuerdo al ejercicio que realiza la Secretaría de Minas de Antioquia, actualmente existen en el departamento más de 1.601 UPM, de las cuales el 79,1% realiza la explotación de mineral sin un título minero que lo ampare, por lo cual requieren un óptimo estado de la maquinaria que utilizan, siendo necesaria una base sólida en mantenimiento, tal como es la tendencia en la región con RCM [3], [6].

La metodología de RCM tuvo sus orígenes en la Agencia Federal de Aviación de los Estados Unidos en 1960, con el

propósito de investigar las capacidades y ventajas comparativas del mantenimiento preventivo, posteriormente en la década de los 80 y 90 se trasladó al campo industrial dando excelentes resultados en el sector aeronáutico, minero y manufactura; a partir de allí, se define al RCM como el proceso utilizado para establecer que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual [2], [7], [8].

Para implementar satisfactoriamente la metodología del RCM se deben realizar las 5 etapas definidas en la Fig. 2., en donde indica el proceso de RCM y los resultados esperados cerrando el ciclo de mejora continua [8].

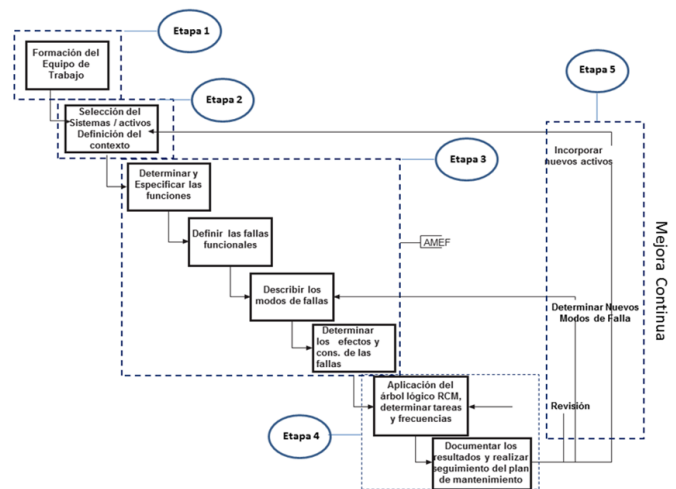


Fig. 2. Flujograma del proceso del RCM.

La metodología de RCM permite:

- Mejorar el funcionamiento de los equipos.
- Analizar las posibilidades de fallo de un equipo y el desarrollo de los mecanismos que tratan de evitarlas, ya sean generadas por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Elaboración de planes de mantenimiento, procedimientos operativos de producción, determinación del stock de repuesto que se requiere o modificación en equipos para su correcto funcionamiento.

Para el sector minero, el RCM es una herramienta de gran importancia dado que el mantenimiento inadecuado de los equipos limita el volumen de producción y la calidad del mineral, lo que se traduce en sobre costos en la logística, transporte y posterior comercialización del producto mineral, además del aumento del riesgo de accidentabilidad y un mayor impacto ambiental.

A. Fallas funcionales y fallos técnicos en equipos mineros

Equipos de minería, tales como dragas, jumbos, máquinas rozadoras, minicargadores, bandas transportadoras, bobcat, bombas sumergibles, ventiladores axiales, extractores y plantas eléctricas, son algunos de los dispositivos que requieren un seguimiento constante en su funcionalidad, para lo cual el RCM

permite prevenir e identificar un posible fallo funcional (antifunción) [8].

Por otra parte, cuando el equipo presenta un funcionamiento anormal al esperado, se define como un fallo técnico, el cual en el caso de equipos de minería está asociado principalmente a las condiciones de trabajo, las cuales, debido a las condiciones de humedad y temperatura, generan problemas en el sistema de lubricación, fuga de aceite, presencia de agua en aceite, corrosión y oxidación. Adicionalmente, dentro de la pequeña minería existente en el Bajo Cauca antioqueño se presenta un desconocimiento del personal encargado del mantenimiento de equipos, por lo cual las actividades, reparaciones y/o mantenimiento que realizan en ocasiones produce mayores afectaciones que los inicialmente presentados, produciendo una degradación acelerada del equipo, y transformando los fallos técnicos en fallos funcionales [2].

IV. MAQUINARIA EN MINERÍA EN EL BAJO CAUCA

En la subregión del Bajo Cauca el principal tipo de explotación minera de oro es por gradado y a cielo abierto, asociada en su mayoría a depósitos al margen del río Nechí y sus afluentes. Sin embargo, aunque la minería es uno de los principales sectores económicos de la subregión, tal como ocurre con municipios como El Bagre y Zaragoza, el alto nivel de informalidad impide un conocimiento certero y a profundidad sobre el estado actual de las prácticas mineras en relación a la implementación o no de un correcto plan de mantenimiento en los equipos mineros, tal como se evidencia en la maquinaria presente en la Fig. 3.



Fig. 3. Equipo utilizado en la pequeña minería

De acuerdo al análisis realizado a nivel local en el municipio El Bagre, se identificó que entre los principales equipos de minería aluvial y a cielo abierto que se utilizan en la subregión, se destacan: draga de succión, draga de cucharas, retroexcavadoras, bulldozers y canales artesanales con motores en la pequeña minería (principalmente de manera informal), tal como se muestra en la Fig. 4 con la maquinaria amarilla que posee el SENA en la subregión.

Adicionalmente, de acuerdo a las necesidades del sector minero en Colombia, se presenta en la Tabla I la vida útil de algunos de los equipos más importantes para el desarrollo de una minería bien hecha [1]:

TABLA I
TIEMPO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS UTILIZADOS EN MINERÍA

VIDA DEL EQUIPO EN HORAS		TIPO DE MANTENIMIENTO		
TIPO DE MAQUINARIA	TIPO DE ENERGÍA	Alto	Medio	Bajo
Perforadora	Diesel	20.000	17.500	15.000
Perforadora	Eléctrica	50.000	40.000	30.000
Tractor orugas	Diesel	25.000	20.000	15.000
Tractor neumáticos	Diesel	30.000	25.000	20.000
Excavadora	Diesel	40.000	30.000	25.000
Excavadora	Eléctrica	50.000	40.000	30.000
Dragalina	Diesel	40.000	30.000	25.000
Dragalina	Eléctrica	50.000	40.000	30.000
Volquete minero	Diesel	35.000	30.000	25.000
Volquete minero	Diesel-eléctrico	40.000	35.000	30.000
Camión convencional	Diesel	20.000	17.500	15.000
Pala cargadora	Diesel-hidráulica	25.000	20.000	15.000



Fig. 4. Retroexcavadora empleada en formación en el Centro de Formación Minero Ambiental.

V. ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO EN LA SUBREGIÓN

En la subregión del Bajo Cauca en la pequeña minería practican el mantenimiento correctivo y algunas veces preventivo; en el caso correctivo solo se revisa la máquina en el momento que falla, se cambian los puntos afectados y se continúa el proceso de uso de dicho equipo. El preventivo se realiza en motores de combustión interna en el cual dependiendo de la intensidad de trabajo y las condiciones en las cuales interactúa la maquinaria, aumentan o disminuyen los intervalos de mantenimiento (tiempos), sin un control específico de lapsos, repuestos y paros [9], [10].

Por otra parte, la gran minería que se realiza en municipios como El Bagre, Nechí y Zaragoza, presenta varios tipos de mantenimiento como son el preventivo, correctivo y predictivo, mientras que el de menor escala solo conlleva a mantenimientos preventivos y correctivos, teniendo como prioridad cumplir con el plan de mantenimiento de equipos de acuerdo a una planeación enfocada en las buenas prácticas mineras, asociada a óptimos resultados en la productividad y cadena de valor del oro, por encima de la inversión o costos necesarios para su ejecución. Esta actividad se realiza de manera satisfactoria en las dragas existentes en los ríos de la región, tal como se muestra en la Fig. 5 [11].

De acuerdo a lo anterior, dado que cada equipo requiere un tipo de mantenimiento diferente, se analizaron las ventajas y las desventajas de las diferentes metodologías de aplicación de los tipos de mantenimiento que se utilizan en el sector minero:

1) *Mantenimiento preventivo*

a) *Ventajas del mantenimiento preventivo*

- Disminuye número de paradas realizando varias reparaciones en un solo paro de la máquina.
- Aprovecha el momento más oportuno para no interferir con el normal desarrollo de la producción.
- Prepara repuestos y partes para evitar demoras en los procesos
- Evita avería producida por pequeños fallos
- Puede prevenir una falla prematura y reducir su frecuencia
- Puede reducir la severidad de la falla y mitigar sus consecuencias

b) *Desventajas del mantenimiento preventivo*

- Se necesita personal capacitado para realizar las operaciones de mantenimiento.
- Se debe apegar al manual y las recomendaciones del fabricante

2) *Mantenimiento correctivo*

a) *Ventajas del mantenimiento correctivo*

- No se requiere mucha infraestructura.
- No se requiere formación avanzada en procesos de mantenimiento
- Se aprovecha la vida útil de los equipos

b) *Desventajas del mantenimiento correctivo*

- Las averías se presentan siempre de forma imprevista, sin control ni planeación.
- En el momento del fallo es posible no tener los elementos dañados a tiempo ni en stock.
- No se garantiza la entrega de equipos a tiempo para seguir la producción.

No está de más recordar que en su gran mayoría, maquinaria y equipos mineros trabajan en condiciones adversas, tales como: exceso de polvo, agua, barro, intemperie, uso de metales pesados y ácidos. Razón por la cual no se garantizan unas condiciones externas óptimas para su funcionamiento, alejándose del estándar idealizado en las fichas técnicas, dejando al descubierto la variabilidad en adaptación y funcionamiento de los equipos, lo cual

permite definir el plan de mantenimiento que se les debe realizar [11], [12].

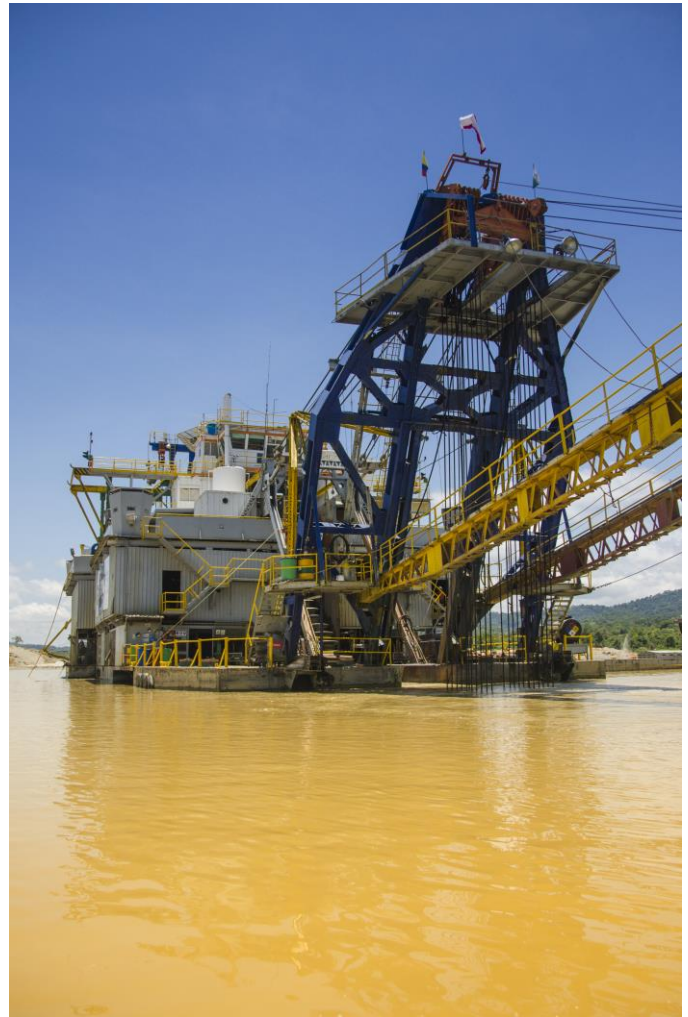


Fig. 5. Draga utilizada en Gran Minería. Cortesía Mineros S.A.

VI. DIAGNÓSTICO

El crecimiento del sector minero en Colombia ha permitido posicionar al departamento de Antioquia como líder en la explotación de recursos minerales, produciendo durante los últimos cuatro años, en promedio, el 44,1% del oro del país, 68,7% de la producción de plata, 1,1% platino, 0,2% carbón, 3,9% en producción de materiales de construcción, 4,4% en arcillas y 6,3% en calizas [6], [7].

No obstante, del oro producido en Antioquia, el 80% es generado por empresas mineras informales, sin una estructura técnica en temas de mantenimiento, desencadenando problemas socioeconómicos, ambientales y técnicos que fracturan el crecimiento sostenible de Colombia por una minería bien hecha [7].

De esta manera, desde el aspecto técnico de los equipos en minería, se evidencia que las UPM informales en el Bajo Cauca no llevan un buen control de estos mantenimientos, usando solamente el tipo correctivo en emergencias, lo que limita su

capacidad productiva, lo que se traduce en dificultades para obtener un título minero y de esta manera continuar con la explotación de oro de forma adecuada.

Como consecuencia de los procesos de mantenimiento general que aplican las pequeñas empresas mineras en la subregión del Bajo Cauca, los paros en la etapa de explotación por daño en equipos van en aumento, lo que se materializa en mayores costos de producción y un estancamiento en la explotación de oro.

Por este motivo, las pequeñas agremiaciones mineras deberían implementar el sistema RCM, lo que garantizaría el apoyo al sistema de administración del mantenimiento de las empresas, teniendo una mejor logística y funcionalidad en la mina, cumpliendo con lo establecido en el Código de Minas de acuerdo a la Ley 658 de 2001 del Ministerio de Minas y Energía [13].

Lo anterior tiene una íntima relación con la tendencia mundial que presenta el sector minero, en donde el desarrollo de nuevas tecnologías, la innovación e investigación aplicada han permitido dar los primeros pasos en la automatización de procesos con el prototipo de equipos autónomos y eficientes, lo cual reducirá la mano de obra, costos de operación, fallas humanas y riesgos laborales. Sin embargo, también implica un plan de mantenimiento más estricto, de mayor complejidad en su ejecución y vigilancia tecnológica, además de personal altamente calificado para garantizar la funcionalidad de este nuevo tipo de equipos y maquinaria.

Es importante destacar que para el Bajo Cauca es fundamental darle relevancia al conjunto de aplicaciones en la industria minera que se proyectan siempre vinculadas a las funciones de planificación, supervisión, análisis y control de retroalimentación de la operación minera a través de la optimización de la producción, la precisión, seguridad y funcionalidad. La pequeña minería aurífera requiere profesionales altamente calificados y consientes de la importancia de los diferentes tipos de mantenimiento presentes en los equipos de minería, además de estar a la vanguardia en temas de tecnología, ciencia, innovación y desarrollo del sector minero, para de esta manera estar preparado y capacitado ante algún tipo de fallo técnico o de funcionalidad en la maquinaria presente en la mina, logrando indicar medidas correctivas y/o de mitigación a tiempo [2], [4].

Para lograr este objetivo, se requiere:

- personal capacitado en mecánica y mantenimiento industrial
- incorporación de tecnologías, para monitoreo de equipos tanto temperatura, presión y vibraciones, que permiten recibir y gestionar los datos de la operación de los equipos para un mantenimiento preventivo
- optimización de los procesos,
- altos estándares de seguridad para el personal.

Durante muchos años se consideró al mantenimiento como un "problema necesario", no obstante, este surgió por la necesidad y requerimiento de producir continuamente, dando a conocer en

el transcurrir del tiempo su importancia, tanto económica como técnica y en seguridad en el trabajo [9].

VII. FORMACIÓN EN MANTENIMIENTO EN EQUIPOS MINEROS

Debido al estado actual de la minería en el Bajo Cauca antioqueño, desde el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) se fomenta la formación y capacitación de los trabajadores y personas vinculadas a la explotación mineral, en especial en el mantenimiento y evaluación diagnóstica de los equipos y maquinaria utilizados en los depósitos minerales; para lograr este cometido el Centro de Formación Minero Ambiental realiza charlas, seminarios y conversatorios en lo concerniente a mantenimiento, soldadura, organización de empresas, emprendimiento y hábitos gerenciales, herramientas que son de utilidad ya que muchos de estos mineros están tendiendo a formalizar sus procesos (Fig. 6 y Fig. 7). Entre los principales programas de formación ofertados en la zona de influencia del centro, se destacan los siguientes:

Tecnología en Supervisión de Labores Mineras

Técnica en Minería a Cielo Abierto

Técnica en Operación de maquinaria pesada para excavación

Técnica en Soldadura de Productos Metálicos (Platina)

Técnica en Logística Empresarial

Técnica en Mecánica de Maquinaria Industrial

Técnica en Productos Metalmecánicos



Fig. 6. Formación profesional integral en mantenimiento de equipos mineros.



Fig. 7. Capacitación a aprendices en tipos de mantenimiento en minería.

VIII. CONCLUSIONES

- Los procesos de mantenimiento en la subregión del Bajo Cauca antioqueño varían de acuerdo al tipo de minería: la legal (que puede ser pequeña y gran minería), enfocada a un mantenimiento programado, y la pequeña minería informal, la cual deja a la puesta en marcha y a la deriva el mantenimiento de los equipos, generando un alto grado de incertidumbre sobre el estado de los mismos.
- Se encontró que muchas (a no decir la gran mayoría) aplica mantenimiento preventivo y correctivo, realizando una capacitación se podría llegar a implementar el mantenimiento basado en la confiabilidad ya que este asegura que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo y elimina aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas. Debido al enfoque riguroso para definir funciones, normas, mecanismo de falla, efectos y grado crítico, el sistema del equipo que está bajo revisión se entiende mucho mejor que antes de la revisión. El resultado de cada estudio del sistema de un equipo es una lista de acciones de mantenimiento, programas y responsabilidades. Estas, a su vez, dan por resultado una mejor disponibilidad, confiabilidad y rendimiento operativo del equipo, y eficacia en costos.

IX. DISCUSIONES

La capacitación de la población del Bajo Cauca en temas mineros, con énfasis en el mantenimiento de equipos, garantiza la puesta en marcha de la pequeña minería en la subregión, la generación de una nueva fuente de ingresos y un índice de desarrollo para sus habitantes. Sin embargo, es discutible la contribución de la futura mano de obra calificada al crecimiento sostenible de una minería bien hecha, dadas las complejas condiciones socioeconómicas del Bajo Cauca y la oferta legal del sector en todos los seis municipios localizados en esta subregión de Antioquia.

Las diferentes empresas utilizan un tipo de mantenimiento de acuerdo a los requerimientos de las máquinas, lo cual en teoría está bien, sin embargo, solo llevaría a un único tipo de mantenimiento: correctivo. De esta manera, aplicar un plan o sistema de mantenimiento conlleva a integrar desde el personal de oficios varios como a la cabeza de la compañía.

Entender que el mantenimiento no es un gasto sino una inversión para que la capacidad de producción de la mina sea la esperada y que los equipos duren mucho más tiempo, así estén en condiciones adversas.

De esta manera, el mantenimiento normalmente no es visible en una empresa, pero cuando algo falla se percatan de lo que falta, afectando al personal que maneja el departamento y el programa organizacional de la mina en general.

REFERENCIAS

Books (Libros):

- [1] Herrera, J. *Introducción al Mantenimiento Minero*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2009.
- [2] Botero, C. *Manual de mantenimiento*. Bogotá: SENA/FEDEMETAL, 1991.
- [3] Gobernación de Antioquia. *Anuario Estadístico de Antioquia*. Medellín, 2016.
- [4] García, S. *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid, 2013.

Technical Reports (Informes técnicos):

- [5] Servicio Geológico Colombiano. *Cartografía Geológica de la Plancha 83 Nechí* (Departamento de Antioquia), Medellín, Colombia. (13-73), Mar. 2013.
- [6] "Caracterización de la actividad minera departamental", Agencia Nacional de Minería, Bogotá, D.C., Colombia, 2017 [En línea]. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/bullets_antioquia_23-01-2017.pdf. [Accedido: 18-jun-2018].
- [7] Ministerio de Minas y Energía – MINMINAS. *Censo Minero 2010 2011*, Bogotá D.C., (17-22) – 2012.

Unpublished Papers Presented at Conferences (Conferencias y presentaciones no publicadas):

[8] Larez, A. *Ingeniería de Mantenimiento: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) (Parte 3)*, Revista Digital Enova Levante, Valencia, 2017 [En línea]. Disponible en: http://www.enovalevante.es/mantenimiento-montajes/2017/02/26/ingenieria_mantenimiento_mantenimiento_centrado_confiabilidad_rcm_parte [Accedido: 15-jun-2018]

Periodicals (Artículos de revista):

[9] Casar, A. "Mantenimiento Preventivo: La diferencia entre reaccionar y anteponerse a una falla", *Electroindustria*, 2008 [En línea]. Disponible en: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=919> [Accedido: 09-jul-2018]

[10] Publicaciones Artículos Técnicos Internacionales en Minería. "Mantenimiento preventivo en minería y gestión del mantenimiento asistido por computadora", 2017 [En línea]. Disponible en: <http://www.publicacionesmineria.com/contenido.php?id=15> [Accedido: 20-jul-2018]

[11] Rivera, A. Minería aurífera en el Bajo Cauca antioqueño. Ed. 34, *Revista Zero*, 2014 [En línea]. Disponible en: <http://zero.uexternado.edu.co/mineria-aurifera-en-el-bajo-cauca-antioqueno/> [Accedido: 20-jul-2018]

[12] Garcés, G.P. "Legalización minera en el Bajo Cauca antioqueño. Resultados del primer laboratorio de legalización y formalización minera en Colombia", Universidad EAFIT, 2015 [En línea]. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/8735/GloriaPatricia_GarcesMejia_2016.pdf?sequence=2 [Accedido: 21-jul-2018]

Standards, official rules (Normas, reglamentos oficiales):

[13] Ley 658/2001, de 14 de junio. Ministerio de Minas y Energía., Bogotá D.C.



Jaime Barrios nació en Cereté, Córdoba, el 11 de noviembre de 1980. Se graduó en el Colegio Diocesano Pablo VI y estudió Ingeniería Mecánica en la Universidad del Sinú en Montería, Córdoba en 2004.

Ejerció profesionalmente en Avites S.A, Distracom, Fundec S.A, Cepun, Impletractores, Autopistas de la Sabana, Obresca CA y la mayor parte del tiempo como Instructor SENA. Entre sus campos de interés están la mecánica tanto diésel como a gasolina (mecatrónica), la mecánica rural, industrial, refrigeración y soldadura.

El ingeniero Barrios recibió menciones en el SENA - Centro de Formación Minero Ambiental como experto regional Worldskill, Líder de Red Mecánica en 2018.



Sebastián Molina Calderón nació en Medellín, Antioquia, el 21 de abril de 1991. Se graduó en la Universidad Nacional Colombia como Ingeniero Geólogo en 2014, posteriormente realizó una maestría en Geología con énfasis en Análisis de Cuencas Sedimentarias en la Universidade Federal do Pará – Brasil en 2017.

En su trayectoria profesional se destaca su participación en proyectos de cartografía geológica para el Servicio Geológico Colombiano, prospección y exploración aurífera en el Nordeste Antioqueño y

formación profesional integral como instructor investigador en el área de minería en el Centro de Formación Minero Ambiental del SENA Regional Antioquia. Entre sus campos de interés se destacan los depósitos metalíferos, geoquímica orgánica, geología sedimentaria y SIG.

El ingeniero Molina fue ganador del Programa de Alianzas para la Educación y la Capacitación (PAEC) de la OEA (2014), Premio Ecopetrol a la Innovación en la categoría exploración – Regional Sur (2017) y Premio INNOVAntioquia de IDEA y la Secretaría de Productividad y Competitividad de Antioquia (2018).