

PROPUESTA DE MEDICION DE LA PRODUCTIVIDAD EN MINERIA DE ORO VETIFORME Y RECONOCIMIENTO DE ESTANDARES PRODUCTIVOS SOSTENIBLES

Indhira M. Jiménez P. y Jorge M. Molina E.
Parque Tecnológico de la Minería y los Materiales - PTEM
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
imjimene@unaimed.edu.co

Recibido para evaluación: 21 de Septiembre de 2006 / Aceptación: 20 de Noviembre de 2006 / Recibida versión final: 30 de Noviembre de 2006

RESUMEN

La productividad es un elemento representativo a la hora de medir la efectividad en minería extractiva. Este documento muestra una propuesta para la medición de la productividad en minería extractiva aplicada a depósitos de oro vetiforme principalmente, mediante una relación de costos, éstos son el costo real y costo referente. El costo real es hallado de acuerdo con mediciones tomadas en campo y el referente con base en las mismas mediciones, pero sujeto a ciertos ajustes que en la práctica son posibles de mejorar, como procedimientos estándares sostenibles. La determinación de éstos costos se lleva a cabo usando un archivo en Excel donde el proceso minero es dividido en etapas mineras, Preparación, Desarrollo y Extracción y éstas a su vez se dividen en las operaciones mineras mas representativas, las cuales son Perforación, Voladura, Entibación, Cargue y Transporte, con el propósito de establecer la etapa y/u operación minera donde se presentan los mayores costos. A partir de la determinación de la etapa y/u operación minera de mayor sobre costo se plantean posibles soluciones para la reducción del costo por tonelada extraída de mineral, lo que significa una mejora en la productividad. Esta propuesta de medición de productividad en minería de oro vetiforme se aplicó en dos zonas; la primera en Marmato (Caldas), y la segunda en el distrito minero de Segovia y Remedios (Antioquia). En Marmato el índice de productividad total fue de 0,9 y para el distrito de Segovia y Remedios tenemos que en la mina Poma Rosa fue 0,93, y en la mina La Picuda de 0,88. También se pudo inferir un índice de productividad total para las minas Cogote y El Castillo, las cuales obtuvieron unos índices de 0,77 y 0,63, respectivamente. A partir, de estos resultados se generaron recomendaciones que pueden ser aplicadas con el fin de aumentar la productividad. Esta propuesta asume que US \$ 1 estadounidense equivale a \$ 2.300 colombianos.

PALABRAS CLAVES: Productividad, Extractiva, Oro de Veta, Beneficio de Minerales, Mineral.

ABSTRACT

The productivity is a representative element when measuring the effectiveness in extractive mining. This document shows a proposal for the measurement of the productivity in extractive mining applied mainly to vein gold mineralization, as a ratio between the real cost and the reference cost. The real cost is found according to the measures taken in mining practice, and the reference cost is based on some adjustments that in practice are possible to improve, as sustainable standard procedures. The determination of these costs are carried out using a file in Excel where the mining process is divided in mining stages, which are: Preparation, Development and Extraction which are then divided in the mining representative operations: Drilling, Blasting, Supporting, Loading and Transportation, with the purpose of establishing the stage and/or mining operation where the largest costs are presented. Starting from the most expensive stage and/or mining operation, we would propose possible solutions for the reduction of the cost for mined ton of mineral, which will mean an improvement in the productivity. This proposal was applied in two areas; the first one in Marmato (Caldas), and the second in the Segovia and Remedios mining district (Antioquia). In Marmato the total productivity index was 0,9; for the Segovia and Remedios district it was 0,93 in Poma Rosa mine, 0,88 in La Picuda mine, 0,77 in Cogote mine and 0,63 in El Castillo mine. Some recommendations were generated taken account that indexes which could be applied with the purpose of increasing the productivity. Given in million current Colombian pesos \$. \$C 2.300 are equivalent to \$US 1.

KEY WORDS: Productivity, Extractive Mining, Vein Gold Mineralization.

1. INTRODUCCIÓN

La productividad en la minería es un factor clave para la racionalización de los recursos minerales, humanos y de maquinaria. Existe la preocupación permanente por mejorar la productividad. Pero para ello, es importante también conocer en forma objetiva la situación actual, en otras palabras, encontrar una forma acertada y socialmente válida de medir la productividad. En esta investigación, se pretende construir una propuesta para la medición de la productividad aplicado en minería extractiva de oro vetiforme. La propuesta consiste en una comparación de costos, permitiendo identificar posibles factores, etapas y procesos en los cuales se presentan los mayores sobrecostos en la actividad minera.

Teniendo en cuenta que esta propuesta se aplica únicamente en minería extractiva, se decide centrar la atención en las operaciones mineras principales como la Perforación, Voladura, Sostenimiento, Cargue y Transporte, siendo éstas las más importantes, pero sin excluir otras actividades auxiliares como el desagüe, mantenimiento, ventilación, entre otros.

La metodología de trabajo consta de cuatro (4) etapas principalmente. La primera es de revisión del estado del arte sobre productividad en la minería, investigación que se realizó por varios medios (Internet, libros, revistas, entrevistas, entre otros). La segunda etapa es de discusión y análisis sobre como hallar un índice de productividad, basados en definiciones de productividad, teniendo como común denominador el costo a lo largo del proceso productivo. La tercera etapa es de preparación y realización de hojas de cálculo en Excel, con las cuales pueda hallarse de forma práctica el índice de productividad en el área de extracción minera. La cuarta etapa consiste en la validación de esta propuesta en campo, donde se realiza la medición de la productividad en varias minas de oro vetiforme, localizadas en inmediaciones de los municipios de Marmato (Caldas), Segovia y Remedios en el Nordeste Antioqueño.

2. REVISION DEL ESTADO DEL ARTE

2.1 Estado del arte de la productividad en minería

Hace ya varios años que se evidencia que el mundo competitivo exige la mejora de la productividad independientemente del área de producción.

Algunos definen la productividad desde un punto de vista económico, otros desde la gestión e incluso desde la perspectiva social. La productividad en el sentido amplio de la palabra está relacionada con la eficiencia, efectividad y eficacia para hacer las cosas.

La productividad requiere esfuerzos sin fin para adaptar actividades económicas a condiciones cambiantes aplicando nuevas teorías y métodos (www.iinet.org, 2005).

Buscando elementos de mejoramiento de la productividad, nos encontramos con el caso colombiano de Propal. Ellos habían previsto desde los años 80's que el precio internacional del papel tendería a la baja en 20 ó 30 años. No obstante, los precios del papel decayeron antes de lo previsto, por lo que se vieron abocados a la toma de decisiones inmediatas con el objeto de no perder mercado. La alternativa era aumentar rápidamente su productividad a través de la generación de valor agregado y creación de productos innovadores. La primera opción implicaría una reducción dramática en los costos de producción, -cerca de \$80.000 millones-con el fin de generar utilidades en todos los puntos del ciclo productivo del papel. La segunda opción implicaba la inversión para el diseño de nuevos productos; con esta iniciativa la empresa ha podido mantenerse en el mercado. (Productividad, El Mejor Camino. Revista Dinero No. 223, Febrero/2005).

Se expone que la mejor forma de aumentar la productividad minera es a través de la excelencia organizativa y el buen desempeño administrativo (Muller, 1970). Sin embargo, ésta es sólo una variable de las numerosas que existen para la medida de la productividad.

Los factores humanos en la medición de productividad son un eslabón importante; dado que las limitaciones y capacidades humanas son determinantes en el desarrollo de cualquier trabajo. Estas condiciones humanas inciden en la eficiencia y eficacia del uso de los recursos, tales como el tiempo, maquinaria, y para nuestro caso específico de minería extractiva, el recurso mineral. Una idea que se abre camino entre profesionales del área minera, es que los factores humanos desempeñan un papel significativo en seguridad y productividad (Sanders y Peay, 1988).

Existe otro enfoque para la medida de la productividad global en la minería de un país, haciendo uso de ecuaciones diferenciales que dan origen al índice total de productividad, basados en conceptos econométricos asociados a minerales industriales. A partir de estos conceptos, es posible determinar desde un punto de vista técnico y económico (en ocasiones social), un diagnóstico estratégico de la situación actual de cada uno de los minerales sometidos al estudio (Rodríguez, 1996). Esta técnica es utilizada principalmente para mostrar índices de productividad globales por país o región. Sin embargo, tiene la desventaja de lo general, es decir, no es posible plantear recomendaciones precisas que permitan la optimización de recursos en minería, pues no muestra los puntos débiles de forma clara.

También la estandarización de las labores mineras, se constituye en un importante paso para que una empresa minera sea exitosa. Así lo expone el documento Mejoramiento de la productividad de la minería en la cuenca Sinifaná, utilizando como base la normalización y estandarización de las operaciones mineras, dando como resultado menores tiempos de ciclo de trabajo (Centro de Investigación del Carbón, 1998).

La parametrización de las labores es fundamental para cualquier proceso minero. Ello significa que todos los trabajadores hacen el trabajo de la misma forma y además bien hecho, creando unidad en el trabajo, para que el proceso de producción esté bajo los estándares que lo hacen eficiente en el manejo del recurso natural, humano y de materias primas.

Sin embargo, no se puede dejar de lado el grado de mecanización en una mina, pues incide en una importante proporción en el uso adecuado de los recursos (Irwin, 1995). Contar con tecnología es sin lugar a dudas una gran ventaja, aunque requiere en la mayoría de los casos un alto costo de inversión, a pesar de este alto costo, no es comparable el volumen de producción cuando las labores mineras son manuales contra las mismas labores hechas con ayuda mecánica.

En general, la productividad puede definirse como la competitividad con la cual los recursos humanos y tecnológicos, el capital y los activos físicos son desplegados. (OTF Group, 2004).

En la minería de muchos países, es común hablar de las toneladas producidas por un hombre en cada turno. Este índice normalmente lo asumimos como la “productividad de la mina”, sin embargo, éste no refleja muchas de las características propias de la mina, como tipo de arranque (manual o mecánico), transporte (ascendente, descendente o a nivel), grado de mecanización, entre otros.

En Colombia, podemos citar ejemplos como la mina la Maruja de la empresa Mineros Nacionales S.A. con una productividad global de 2 t/hombre-turno para el primer semestre de 2005, esta mina tiene arranque mecanizado, 50 % del transporte de mineral es a favor de la gravedad y a nivel, cuenta con maquinaria y equipos suficientes en cada frente de trabajo. También cabe mencionar las escasas 0,5 t/hombre-turno que se extraen en la minería artesanal de varias regiones de Colombia, donde el arranque y el transporte de mineral son manuales y/o con bajo grado de mecanización.

Existen factores intrínsecos y extrínsecos que afectan la productividad; por ejemplo dentro de los factores intrínsecos están el terreno, materiales, energía, maquinaria, equipos, recurso humano, entre otros, y dentro de los factores extrínsecos se encuentran la disponibilidad de materias primas, mano de obra calificada, políticas estatales relativas a tributación, infraestructura existente y disponibilidad de capital e intereses (<http://dictionary.cambridge.org>, 2005).

En general, la productividad puede definirse como la competitividad con la cual se despliegan los recursos humanos y tecnológicos, de capital y los activos físicos, (OTF Group, 2004). Un ejemplo de lo anterior, es lo ocurrido en Estados

Unidos donde la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo medida como producto por trabajador-hora para el periodo de 1960-1973 fue de 3,2 % anual promedio, sin embargo, en el año de 1974 la productividad fue negativa (-1,7), este resultado se debía a la escasa formación de capital, la baja relación de reserva de capital por trabajador y por lo tanto, el trabajador no tenía más y mejores herramientas de trabajo. Las causas –a su vez- eran la falta de incentivos para invertir debido a la recesión y a la inflación, y también por la crisis energética, las regulaciones innecesarias y excesivas que aumentaban los costos y los precios (Vargas, 2005).

La política tributaria como un factor que proporcione un ambiente adecuado para el crecimiento de la formación de capital, del cambio técnico, de la productividad y el producto a largo plazo; por lo que se propone una política fiscal que fomente el ahorro-inversión antes que el consumo, un menor déficit fiscal, para no recurrir a la deuda y no dañar la inversión privada, una mejor asignación de los gastos fiscales en la inversión humana, como en la innovación (Vargas, 2005). Los aspectos legales pueden ser determinantes en la variación de la productividad, por lo que es importante tenerlos en cuenta para la toma de cualquier decisión.

En conclusión, existen circunstancias intrínsecas y extrínsecas de las operaciones mineras que hacen que cada labor sea particular. Estas circunstancias hacen difícil establecer una comparación objetiva de la productividad de minas, en diferentes regiones o países. Cuando se tienen condiciones extrínsecas e intrínsecas, es posible buscar algunos referentes en condiciones similares o para ciertas operaciones, con el fin de encontrar buenas prácticas y la mejor metodología de medición de productividad minera.

Esta discusión abre el panorama acerca de lo que significa la productividad y aún más, lo que significa la productividad aplicada a la Minería.

Tratando de integrar la información anterior y con objeto de adoptar conceptos prácticos, se propone hallar un índice de productividad asociado a la minería, mediante una relación de costos operativos y financieros, de tal forma que en cada mina se obtengan sus costos actuales y los que podrían llegar a ser sus costos de referencia.

2.2 Revisión de los métodos de explotación subterránea más utilizados

En minería subterránea todo se resume en una palabra inglesa "*stopping*", que podríamos traducir como "*hacer cámaras subterráneas*". La minería subterránea presenta mayores costos de explotación que la minería a cielo abierto. A esto hay que sumarle las complicaciones asociadas a una menor capacidad de extracción del mineral económico y mayores riesgos laborales. Se recurre a la explotación subterránea cuando la sobrecarga de estéril sobre la masa mineralizada es tal que su remoción hace inviable un proyecto minero a cielo abierto. Podemos decir también, que bajo un punto de vista ambiental, la minería subterránea suele crear un impacto menor que una mina a cielo abierto.

El diseño de una mina subterránea comprende la división espacial del depósito dentro del área de concesión, incluye los niveles auxiliares y los frentes de explotación, así como la disposición de los trabajos bajo tierra y su localización con respecto a los otros. El diseño de la mina es determinado por el tamaño y forma del área de minería, de las condiciones del depósito mineral (cantidad, forma, presiones de terrenos, meteorización de las rocas y materiales suprayacentes, principalmente).

En general, el diseño de una mina subterránea, consiste en:

- **Desarrollo:** Son las labores de acceso al depósito.
- **Preparación:** Es la división del depósito en bloques, generalmente bajo intervalos regulares.
- **Explotación:** Son las labores de extracción de mineral de los bloques.

Entre los métodos más comunes de explotación subterránea (existen variantes de los mismos) están los siguientes:

1. Cámaras naturalmente (auto) soportadas:
 - Cámaras abiertas (*open stoping*).
 - Hundimiento por subniveles (*sublevel stoping*).
 - Barrenos Largos (*longhole stoping*).
 - Cámaras con soporte de pilares (*room and pillar*).
2. Cámaras artificialmente soportadas.
 - Cámaras con almacenamiento (*shrinkage stoping*).
 - Laboreo por cámaras con relleno (*cut and fill*).
3. Hundimiento (*caved stopes*).
 - Hundimiento de bloques (*block caving*).
 - Hundimiento de pisos (*sublevel caving*).

Tabla 1. Relación entre el buzamiento y los métodos de explotación.

Buzamiento	Método	Condiciones aplicación
Horizontalizado	Cámaras y pilares	Cuerpo mineral competente
Medio	Tajo largo	Capas de poca potencia
	Cámaras y pilares	Cuerpo mineral competente
Inclinado	Cámaras y pilares inclinados	Inclinación limita mecanización
	Cámaras y pilares por etapas	Etapas permiten mecanización
	Tajo largo	Cuerpo mineral tipo capas delgadas
	Corte y relleno	Mineral firme, selectividad, mecanización.
	Entibación con marcos	Mineral de alto tenor, labores intensivas
	Realce por subniveles	Mineral competente y contornos regulares
	Cámaras almacén	Mineral competente, contornos regulares, recuperación demorada.
	Corte y relleno	Mineral firme, selectividad, mecanización
Derrumbe de subniveles	Derrumbe de subniveles	Cuerpo mineral grande, requiere desarrollo extensivo
	Derrumbe de bloques	Cuerpo mineral masivo, requiere desarrollo extensivo
	Tajo largo	Cuerpo mineral tipo capas delgadas
Entibación con marcos	Entibación con marcos	Mineral de alto tenor, labores intensivas.

En la zona del Nordeste Antioqueño, zona donde se implementó la propuesta metodológica, los métodos de explotación subterránea más comunes son el de Cámaras y Pilares y Cámaras con Almacenamiento.

Teniendo en cuenta que en los distritos mineros de Segovia y Remedios se presentan dos tipos de vetas, la primera con un buzamiento entre 30-40° y la segunda con una inclinación de mayor de 80°, y con la descripción de los métodos de explotación subterránea más comunes, se puede concluir que:

- Para las vetas entre 30 y 40° de inclinación y teniendo en cuenta la roca encajante la cual se considera de buena calidad en cuanto a resistencia; además del buzamiento, espesor, firmeza de la veta y la calidad del mineral (tenor de la veta) el método más recomendado es el de Cámaras y Pilares. Entre las principales ventajas de este método de explotación tenemos que:

1. Las irregularidades del yacimiento afectan poco el sistema de explotación.
 2. Escaso consumo de madera o de algún tipo fortificación.
 3. Debido a los pilares es poco probable el descenso sistemático del techo, por lo tanto no existe la necesidad de relleno.
- Para las vetas de más de 80° de inclinación se recomienda Corte y Relleno en minería a gran escala y Cámaras con almacenamiento para minería a pequeña escala. El corte y relleno se recomienda para gran minería dados los costos asociados al relleno, y el de cámaras con almacenamiento dado el depósito que cumple con las condiciones para implementar este método, además de ello, es un método sencillo, fácil de aplicar, tiene buena recuperación y de bajos costos.

Vale la pena anotar que, estas recomendaciones están sometidas a las condiciones geomecánicas propias del yacimiento. El Nordeste Antioqueño no cuenta con estudios serios disponibles acerca de la competencia de la roca. La experiencia del minero en la zona, hace saber que la roca encajante es de buena resistencia, sin embargo, aun no existen registros de la calidad de la roca, por lo que se hace necesario el desarrollo de una investigación de este tipo, con el fin de que la escogencia del método de explotación mas conveniente sea con base en datos experimentales y registros certificados preferiblemente.

3. PROPUESTA DEL ÍNDICE DE MEDICIÓN DE PRODUCTIVIDAD

Productividad es el esfuerzo que se hace para mejorar la forma de hacer las cosas, comparativamente con el mejor (Alzate, 2002). Productividad es superar la mejor marca anterior, acorde con esta definición podemos citar la siguiente ecuación:

$$Pr\ oductividad_Total = \frac{Cantidad_de_Pr\ oductos}{Cantidad_de_Insumos} \quad (1)$$

Entendiéndose por cantidad de productos los bienes y servicios producidos por la empresa, y por cantidad de insumos todos los factores incluidos en el proceso productivo.

La productividad total es la relación entre la producción total y la suma de todos los factores de insumo. Así la medida de productividad total, refleja el costo conjunto de todos los insumos al fabricar los productos. En la definición anterior, tanto la producción como los insumos se expresan en términos reales o físicos, convirtiéndolos en pesos constantes (o cualquier otra moneda) en un periodo de referencia (www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales.htm, 2006).

La productividad implica la mejora del proceso productivo; la productividad aumenta cuando:

- Existe una reducción de los insumos mientras las salidas permanecen constantes.
- Existe un incremento de las salidas, mientras los insumos permanecen constantes.

De acuerdo con lo anterior, es posible decir que los insumos y los productos (salidas) de cualquier proceso productivo pueden representarse en dinero real. Las directivas de cualquier organización productiva siempre tienen el mayor cuidado de que sus insumos sean los mínimos posibles y que sus productos sean maximizados como medida para aumentar la productividad.

En general, el factor costo está incluido en todas las variables a lo largo del proceso, por lo que se escoge como principal componente de esta propuesta metodológica para la medición de la productividad en minería, con aplicación en depósitos de oro vetiforme, principalmente. Se busca tener en cuenta no solamente los costos asociados a las etapas y operaciones mineras principales, sino también los costos de inversión, de interés al capital, de supervisión,

ambientales, costos asociados a las operaciones auxiliares de minería (ventilación, iluminación, desagüe, mantenimiento), costos asociados al adecuado uso de la capacidad de infraestructura, entre otros.

En minería subterránea las etapas mineras son: Desarrollo, Preparación y Extracción propiamente dicha. Estas etapas a su vez se dividen en operaciones mineras las cuales son: Perforación, Voladura, Sostenimiento, Cargue y Transporte. Y como operaciones auxiliares tenemos el desagüe, ventilación, mantenimiento mecánico y eléctrico, entre otros.

Con el propósito de hacer explícito un factor diferenciador y basados en el estado del arte para la medición de la productividad se decide que todas las variables se representen mediante el factor costo o tomen forma a través de pesos constantes. Un ejemplo de lo anterior, es si pensamos en perforación, lo asociamos a que tipo de perforadores existe, cuál puede comprarse de acuerdo a la capacidad adquisitiva de la empresa, qué combustible usa, disponibilidad de dicho combustible, costo del combustible, entre otros. Si tomamos el sostenimiento, pensamos en materiales pétreos, madera o metálicos, diferentes calidades, costo por unidad, y de forma similar para cada una de las etapas y operaciones mineras. Por lo tanto, la mejor manera de integrar todas las variables es a través de costos asociados a la operación minera.

A partir de esto se propone la aplicación de un indicador, que mediante una relación de costos (real y de referencia) permita identificar los puntos críticos al interior de un proceso extractivo minero.

La aplicación de indicadores permite la evaluación de parámetros en una situación dada, comparando y confrontando información adquirida, en una actividad en particular (para nuestro caso el proceso minero extractivo).

Es muy importante efectuar análisis con indicadores cuantitativos, para establecer parámetros de mejoramiento, y así, tomar decisiones acerca de la situación actual de la minería de oro vetiforme (Mesa, 2005).

Siguiendo una metodología evaluativa, los indicadores son parámetros para determinar los logros y cumplimientos de objetivos y metas en un proceso dado.

Las características importantes de los indicadores deben ser: cuantificables, claros y consistentes, medidos periódicamente, orientados a objetivos y metas, además de ser equilibrados (Mesa, 2005).

Procediendo lo anterior se plantea un indicador basado en una relación de costos y de acuerdo con la definición de productividad se llega a la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{COSTO_REFERENTE}{COSTO_REAL} \quad (2)$$

Donde *IP*: Índice de Productividad.

A partir de la ecuación 2 se busca hallar el costo referente y el costo real en minería, aplicado a depósitos de oro vetiforme. El proceso extractivo se subdivide en diferentes etapas y operaciones con el propósito de encontrar su costo asociado por separado. Con la obtención del costo real y el referente se busca hacer una comparación equivalente entre cada etapa y operación minera, para poder determinar de forma precisa en que etapa y operación se encuentra el mayor sobrecosto.

Para propósitos de este trabajo se asume que los factores críticos lo componen las etapas mineras de Desarrollo, Preparación y Explotación, las cuales se subdividen en operaciones mineras (Perforación, Voladura, Sostenimiento, Cargue y Transporte), siendo estas cerca del 70% de los costos operativos de extraer una tonelada de mineral.

El costo real se halla con base en la información tomada en campo, como por ejemplo: número de trabajadores por

turno, número de turnos, producción por turnos, relación entre volumen de estéril y mineral removido, cantidad de insumos requeridos, inversión en infraestructura, costo/ton, entre otros.

El costo referente hace alusión a aquel costo que podría alcanzarse en la misma situación pero teniendo en cuenta prácticas de mejoramiento en los procesos, mayor eficiencia de equipos, rendimientos de los insumos o aquellas que se han logrado en minas de la región. Algunas de estas prácticas incluyen mejorar los ciclos de operación, incrementar la eficiencia de la maquinaria, disminuir los consumos específicos de insumos.

Las prácticas propuestas deben ser sencillas, efectivas y alcanzables. Pueden que de forma independiente no incidan drásticamente en el costo de extracción por tonelada, pero ayudan a identificar los procesos que podrían mejorarse.

Después de encontrar el costo real y el costo referente, se hallará un índice de productividad de acuerdo a la ecuación 2. Si esta relación es cercana a uno (1) significa que es una mina productiva pues su costo real es muy cercano al costo referente. Por el contrario, si la relación es cercana a cero (0), se considera que no se están aprovechando eficazmente sus recursos; entonces se determinaría cuál es la etapa y/u operación con el mayor costo y se proponen posibles soluciones para la reducción de estos costos. Para efectos de este trabajo se asume una alta productividad cuando el índice de productividad es mayor a 0,8, una productividad media cuando $0,6 \leq IP \leq 0,8$, y una productividad baja cuando el IP es menor a 0,6.

Siguiendo esta dirección se comenzó a diseñar un Archivo en Excel, donde se plantea el costo real y el referente basado en mediciones de campo y datos teóricos. Este archivo en Excel tiene como función principal el procesamiento de los datos recolectados y por lo tanto simplificar la obtención de resultados.

En esta propuesta metodológica los costos financieros no varían, es decir, después de hallados no se modifican, pues se considera que éstos hacen parte de los costos fijos de la extracción del mineral. Sin embargo, esto no significa que no existan posibles mejoras a realizar en este aspecto; por el contrario los costos financieros son susceptibles a reducirse si se analiza los costos asociados a las operaciones auxiliares de la mina (ventilación, iluminación, desagüe, entre otros) y los costos asociados a la utilización de la capacidad de infraestructura, principalmente. Pero con objeto de practicidad en la obtención de resultados éstos se mantendrán fijos, además se considera que son sólo entre el 25-30% del costo de extraer una tonelada de material.

El Archivo en Excel consta de seis (6) hojas en Excel que tiene como objetivo la medición de la productividad haciendo uso de la ecuación (2). El archivo en Excel se encuentra en el Anexo C.

La primera hoja se denomina Factores de Mina, y es allí donde se introducen los datos propios del depósito y del sistema de explotación utilizado, como por ejemplo buzamiento del depósito, tenor (g/ton), número de galerías, dimensión de las mismas, entre otros.

La segunda hoja se denomina Costo Real, y como su nombre lo indica halla el Costo Real Operativo de extraer una tonelada de mineral. En esta hoja se tienen en cuenta las etapas y operaciones mineras principales, las cuales consideramos los factores críticos

La tercera hoja Aspectos Financieros, es donde al introducirse la producción anual en toneladas, inversión en infraestructura, interés al capital, número de años en los cuales debe recuperarse la inversión y además los costos asociados a operaciones auxiliares, energía, estudios ambientales, entre otros, halla el costo que se le debe sumar al costo operativo. A este costo lo denominamos costo financiero.

La cuarta hoja pretende hallar el tenor crítico operacional de la mina, con base en los datos tomados en campo, como por ejemplo costos de supervisión, producción anual y precio del gramo de oro en el mercado, principalmente.

La quinta hoja se denomina Costo Referente y como su nombre lo indica halla el Costo de Referencia Operativo que podría tener la mina con base en las mismas mediciones pero con los ajustes técnicos pertinentes.

La sexta y última hoja es la del índice de Productividad, donde se halla el Índice de Productividad Operativo y el Total, de la siguiente forma:

$$IP_{Op} = \frac{\text{Costo_Re ferente_Operativo}}{\text{Costo_Real_Operativo}}$$

$$IP_T = \frac{\text{Costo_Re ferente_Operativo} + \text{Costo_Financiero}}{\text{Costo_Real_Operativo} + \text{Costo_Financiero}} \quad (3)$$

Cabe recordar que como el proceso extractivo se subdividió, es posible conocer el índice de productividad para cada etapa y operación minera por separado.

La información suministrada al Archivo en Excel debe ser veraz, con objeto que a partir de los resultados se pueda identificar de forma clara la etapa(s) y/u operación(es) donde exista la posibilidad de mejoramiento.

4. APLICACIÓN EN CAMPO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, esta propuesta fue validada en la zona de Marmato (en Julio-2005) y Nordeste Antioqueño (en Noviembre-2005), donde se visitaron cinco (5) minas en total, donde a tres (3) de ellas se les aplicó la propuesta de medición de productividad de forma satisfactoria, en las otras dos no fue posible por falta de tiempo en la obtención de los datos requeridos.

La Tabla 2 muestra las toneladas producidas por hombre en cada turno, el costo total operativo y el índice de productividad para cada una de las minas donde se aplicó la metodología para la medición de la productividad.

Tabla 2. Mediciones en Campo.

MINA	ton/h-turno	Costo Total Op.(\$/ton)	I.P Operacional
La Maruja (Marmato)	2	20.188	0,8
La Picuda (Segovia)	1,06	43.322	0,85
Poma Rosa (Remedios)	0,47	149.77	0,9
El Castillo (Segovia)	0,062	530.000	0,63
Cogote (Segovia)	0,02	296.730	0,77

La Tabla 3 muestra la proporción de la incidencia de cada una de las operaciones unitarias y de la energía eléctrica sobre el costo total por tonelada extraída. Se observa que la mayor proporción para todos los casos es representada por la Voladura, la principal causa de esto, es que en épocas de difícil consecución de material explosivo, los mineros pueden encontrar suministro en el mercado negro a precios que varían entre los \$500.000 - \$2'000.000 la caja de Indugel Plus AP, cuando su precio normal varía entre \$250.000-\$300.000 la caja.

Tabla 3. Porcentaje de Incidencia de las operaciones mineras y la energía en el Costo Total.

MINA	Perforación (%)	Voladura (%)	Sostenim. (%)	Cargue y Tte (%)	Energía Elect. (%)
La Maruja	19	52	12	12	1.6
La Picuda	20	53	8	11	5
Poma Rosa	24	39	7	25	3

En la Tabla 4 se muestra la forma como se relacionan los costos operativos y costos de infraestructura sobre el costo total. Se observa que para las minas La Picuda y Poma Rosa esta relación se encuentra en el 70% para los costos operativos y del 30% para los costos asociados a infraestructura y para la mina La Maruja esta relación se encuentra alrededor del 50% para cada costo, lo que hace pensar que la capacidad de la infraestructura esta siendo subutilizada en algunas operaciones. De allí, podemos inferir que una buena utilización de la infraestructura, es decir, operar de acuerdo a máxima capacidad de infraestructura, puede contribuir significativamente a rebajar los costos totales por tonelada extraída de material.

Tabla 4. Incidencia de costos operativos y de infraestructura

	Costo Op. (\$/ton)	Otros costos (\$/ton)	Costo Total (\$/ton)
La Maruja (Marmato)	20.188	17.971	38.159
% de incidencia	53%	47%	100%
La Picuda (Segovia)	43.322	15.820	59.142
% de incidencia	73%	27%	100%
Poma Rosa (Remedios)	149.475	65.673	215.148
% de incidencia	69%	31%	100%

La Tabla 5 muestra un paralelo entre el rango de los costos actuales y los que podrían llegar a ser. En esta tabla se muestra la relación que existe entre el costo actual y su tenor equivalente requerido en cada operación, contra el costo de referencia y su tenor necesario. Por ejemplo, el costo real de la perforación oscila entre \$15.000/ton y \$60.000/ton por lo que se requiere un tenor entre 0,5-2 g Au/ton, y de forma similar se interpreta para los demás ítems.

El 70% de los costos reales requieren un tenor entre 3,5-15 g/ton, mientras que para el costo referente se requieren entre 2,1-5,1 g/ton. Se observa que los costos reales son susceptibles de reducirse tomando como referente minas de la región, como La Picuda y FGM, permitiendo trabajar con tenores mucho más bajos, y por lo tanto se consigue un aumento de la productividad.

Tabla 5. Aspectos de tenor/ton

ITEM	Costo Real (\$/ton)	Tenor Requerido (g/ton)	Costo Referente (\$/ton)	Tenor Requerido (g/ton)
Perforación	15-60	0,5-2	7,5*	0,25
Explosivo	30-150	1,0-5,0	15,4* **	0,5
Te Interno	3-120	1,0-4,0	6	0,35
Energía Eléctrica	30-120	1,0-4,0	30-120	1,0-4,0
70% Costos		3,5-15		2,1-5,1
100% Costos		5,0-21,4		3,0-7,3

* La Picuda: Los datos de Costo Real y Referente están en miles

**FGM

Los datos consolidados muestran que para la muestra tomada existen minas con alta productividad, sin embargo, aunque tengan un índice de productividad = 0,6 algunas minas tienen costos de extracción muy elevados, es decir, en la zona del nordeste se trabaja con tenores muy altos, de tal forma que permite la rentabilidad de dichos procesos. De hacerse una observación detallada de cada uno de los costos del proceso minero extractivo seguramente éstos podrían reducirse a la mitad o tal vez menos, permitiendo una mayor rentabilidad.

La mecanización en la perforación y el transporte, tiene alta significancia en la tasa de extracción de mineral. Podemos citar el ejemplo de La Picuda, que tiene una producción mensual de 625 ton contra las 56 ton/mes de la mina Poma Rosa que realiza labores de perforación y transporte de forma manual. Ambas minas tienen un número similar de trabajadores.

La implementación de infraestructura sencilla dentro de la mina, como la instalación de teclas y tolvas puede favorecer de manera representativa la tasa de extracción de mineral por turno.

Dado que el costo por explosivos es el factor de mayor proporción en el costo total por tonelada extraída de mineral, se plantea la utilización de ANFO, como se hace actualmente en la empresa FGM. Se cree que las condiciones están dadas para la utilización de este material explosivo lo que redundaría en una baja de éstos costos.

5. CONCLUSIONES

- La Propuesta metodológica para la medición de la productividad en minería de oro vetiforme es una buena herramienta para conocer el estado actual de la minería en la zona del Nordeste Antioqueño.
- La buena escogencia del método de explotación a aplicar es influyente en los costos, dado que cada método utiliza insumos variables y requiere de un grado de mecanización diferente, por lo que es necesario, antes de escoger el método de explotación contar con criterios geomecánicos del depósito como ayuda para disminuir la probabilidad de error y por ende la baja productividad.
- Esta propuesta asumió como factores críticos las etapas y operaciones mineras principales, sin embargo, esto no significa que los otros costos asociados al proceso extractivo, como los de las operaciones auxiliares, no sean susceptibles a la reducción, sino que por el contrario, vale la pena tenerlos en cuenta en algún grado de detalle.
- Es imprescindible levantar una línea base con visitas de campo, plantear reuniones con personal técnico de la región para que en una acción conjunta se «descubran» las debilidades y esbozar distintas soluciones que reflejen el aumento de la productividad en el proceso extractivo.
- La medición de la productividad debe ser una tarea periódica, con el fin de comparar estados de la minería, analizando su evolución en el tiempo.
- Esta propuesta metodológica, se centra únicamente en los costos de extracción, por lo que vale la pena anotar que los costos asociados al beneficio de mineral también merecen un examen minucioso, pues se considera que este aspecto aumenta los costos de forma considerable y por ende reduce la productividad.
- Aunque el proceso minero extractivo es complejo, dada la integración de varios factores intrínsecos y extrínsecos; la implementación de prácticas sencillas en el ciclo de trabajo pueden influenciar considerablemente la tasa de producción de una mina, permitiendo disminuir los costos. De acuerdo con esto, es importante el reconocimiento de prácticas estándares sostenibles que permitan la mejora al proceso.

6. RECOMENDACIONES

- Los datos disponibles de productividad en minería son amplios, sin embargo, la mayoría de las veces la información es aplicada a carbón, minerales industriales o mineral de cobre. De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta la gran riqueza de mineral que existe en el Nordeste de Antioquia, se hace preciso que la propuesta metodológica para medir la productividad presentada en este documento sea implementada en intervalos de tiempo predefinidos, con el fin de fijar metas y alcances permitiendo la real evolución del proceso extractivo en esta zona del país; dado que el solo diagnóstico de la situación no es sinónimo de evolución.
- La escogencia del método de explotación influye de forma considerable en los costos totales operativos, dado que cada método requiere de preparación, desarrollo y explotación de mina variable, los insumos y frecuencia del sostenimiento es diferente según el método aplicado, el transporte puede requerir alto o bajo grado de mecanización según condiciones del yacimiento y del método, entre otros aspectos. Por lo que es necesario un estudio geomecánico para que la escogencia del método sea apropiada y permita unos costos de extracción ajustados a la realidad del depósito.

- La propuesta metodológica se basa en los factores críticos del proceso extractivo o en otras palabras, se basa en aquellos factores que representan cerca del 70% de los costos totales operativos, por lo que se considera que esta propuesta es una buena aproximación a la situación real que se vive en la minería aurífera del Nordeste de Antioquia. Con la utilización de esta propuesta es posible dar una mirada integral al proceso minero dado que se presenta el índice de productividad total operativo y el índice de productividad total, pero además de esto, muestra el índice de forma separada para cada etapa y operación minera por separado, permitiendo identificar con algún grado de certeza el “punto débil” del proceso o aquel donde se están presentando los sobrecostos, con el fin de entrar a proponer posibles soluciones y recomendaciones que puedan impulsar el aumento de la productividad.
- Como ya se ha mencionado el costo real por tonelada extraída de material hallado de acuerdo con la metodología de medición aquí presentada, es aquel que se “ajusta” a la realidad de un proceso minero estudiado, sin embargo, el costo de referencia a hallar debe ser un objetivo posible de alcanzar, es decir, no es práctico proponer un idealismo, el cual no sea ni remotamente alcanzable. El propósito radica en que, de acuerdo al conocimiento técnico que se tenga del proceso extractivo se determinen acciones que puedan ser implementadas en el corto plazo y con bajo presupuesto de inversión para el aumento de la productividad.
- Es importante que las operaciones unitarias: perforación, cargue y transporte sean mecanizadas. Se observa que cuando estas labores se realizan de forma manual, existe una producción de mineral baja y además inciden en gran proporción en el costo por tonelada extraída de mineral.
- El suministro oportuno y a precios competitivos de material explosivo puede ser determinante en la disminución del costo por tonelada.
- La normalización de las labores mineras, es una herramienta efectiva para el aumento de la producción, y consiste básicamente en capacitar a los trabajadores para que todas las labores se realicen de la misma manera y bien hechas. Podemos citar el ejemplo de La Maruja (Marmato-Caldas) donde con la normalización o estandarización de las labores han logrado duplicar su producción.
- La implementación de infraestructura sencilla dentro de la mina, como la instalación de teclas y tolvas puede favorecer de manera representativa la tasa de extracción de mineral por turno.
- La estructura organizacional y la efectividad en la jornada laboral pueden ser determinantes en la producción de mineral. Se puede citar el caso de la mina Poma Rosa, donde el compromiso laboral de los trabajadores logra mantener un tiempo efectivo de trabajo estándar.
- La motivación a los trabajadores puede llegar a ser otra herramienta para elevar niveles de producción, promoviendo ascensos en la estructura organizacional (reconocimiento), o a través de incentivos económicos es posible suscitar efectividad en el trabajo.
- La flexibilización de labores puede ser una herramienta efectiva para aumentar el tiempo de trabajo por cada turno. La flexibilización permite disminuir el nivel de accidentalidad y bajar los niveles de ausentismo, reflejando un aumento en la productividad.
- La intención original al realizar esta metodología era proponer una medición de la productividad en minería de oro vetiforme que fuera aplicable a casos reales, es decir, que fuera cercana a la realidad de un proceso extractivo minero, con el fin no solo de “proponer,” sino también “validar” la propuesta metodológica expuesta en este documento. De esta forma se lleva la propuesta a Marmato y al distrito minero de Segovia-Remedios. De esta aplicación en campo se pueden mencionar varios aspectos relevantes:
 1. La buena disposición que se presentó en todas las minas visitadas, por parte del personal encargado, lo que permitió la implementación de la propuesta metodológica en tres minas de manera satisfactoria y en dos minas debido a falta de tiempo para levantar la información requerida, el índice de productividad tuvo que ser inferido con base en los datos obtenidos.
 2. El grado de mecanización en las operaciones mineras es determinante en la tasa de producción de una mina, por

lo que se hace necesario que sean destinados recursos económicos para tal efecto, en el mejor de los casos dentro del más corto plazo de tiempo.

3. Es preciso dictar capacitación a los mineros, y mas aun a aquellos que trabajan en pequeña minería o minería informal, dado que en muchos casos el tiempo efectivo de trabajo por turno se ve considerablemente reducido por ignorancia de los trabajadores.
4. Aunque las operaciones auxiliares mineras (desagüe, mantenimiento electro-mecánico y de galerías, iluminación, ventilación, entre otras), no se tuvieron en cuenta al detalle, vale la pena resaltar que estas operaciones se constituyen en la base del avance de cualquier proceso extractivo, por lo que es preciso considerar sus costos de manera precisa, pues allí también puede existir un punto de sobre costo susceptible a la reducción.

7. BIBLIOGRAFIA

- Álzate, C., 2002. Cálculo de la Productividad de un Negocio de Generación de Energía. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Facultad Nacional de Minas. pp. 19-21, 27-33, 52-54 y 69-84.
- Atlas Copco. Guía de los métodos de minería y equipos aconsejables.
- Bieniaswki, Z. T., 2005. Design methodology in rock engineering. A. A. Balkema.
- Castro, A., s.f. Etapas de un Proyecto Minero. pp. 1-3.
- Castro, J., 1999. Tutorial de Producción 1. Instituto Tecnológico de la Paz. Disponible en: www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/produccion1.htm
- Centro de investigación del carbón, 1998. Mejoramiento de la productividad de la minería en la cuenca de La Sinifaná utilizando como base la normalización y estandarización de las operaciones mineras. pp. 35.
- Centro Nacional de Productividad, 2005. www.cnp.org.co/home/casosexitosos.php.
- Chaparro, E., s.f. Small-scale mining: a new entrepreneurial approach, CEPAL, Recursos Naturales e infraestructura, United Nations Publications, 1680-9025, 82 P.
- Cock, J. y López, W., 2001. Aglomeraciones Mineras y Desarrollo Local en América Latina. Capítulo 12. Conflicto y Colaboración en la Minería de oro en Segovia y Remedios.
- Cornejo, M., 1995. Excelencia Directiva para lograr la Productividad. 1ª ED. pp. 25-36.
- Díaz, A., 2002. La Productividad y la Competencia Laboral. Revista Ciencia Administrativa, No. 2.
- Fritzsche, H., 1965. Tratado de Laboreo de Minas V1 y V2. 2ª Ed., pp. 155-160, 220-225, 408-412 . España.
- García, B., 1998. Círculos de Calidad. Productividad y Desarrollo Humano. 4ª Ed., pp. 17-26.
- Gaviria, A., 1998. Estudio de menas auríferas del occidente colombiano influencia de las características mineralógicas en el proceso extractivo. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. pp. 5-6.
- INGEOMINAS (Área Minería), 1999. Inventario Minero Nacional. Departamento de Antioquia. Recopilación de Información Secundaria. pp. 83-97.
- Irwin, J., 1998. Mejora de la Productividad Minera. Parte de Minería (Perú). pp. 8-13.
- Macia, C. y Sejin, J., 2000. Aplicación de un sistema de relleno hidráulico como mitigación del impacto ambiental en la mina El Silencio. (Segovia-Antioquia). Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Facultad Nacional de Minas. pp. 15-21, 35-38.
- Mesa, L., 2005. Indicadores para evaluar el centro minero ambiental-CMA, en el Nordeste Antioqueño. Gobernación de Antioquia. Secretaria de Productividad y Competitividad. pp. 2-3.

MINEROS NACIONALES S.A, 2004. Informe de Gestión.

Muller, R., 1970. Administración de Empresas Mineras y Comercio de Minerales y Metales. 1 ED. Editado por R.M.H. pp. 21-37, 55-57.

Peters, W.C., 1978. Exploration and mining geology. John Wiley & Sons, NY, 696 P.

Sanders, M. y Peay, J., 1988. Human Factors in Mining. Information Circular 9182. pp. 56, 99, 100, 126, 128.

Satizábal, C., 2004. En asocio con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Ministerio de la Protección Social, República de Colombia. Diálogo de Saberes y Cultura Minera. Una aproximación a los indicadores cualitativos de desarrollo humano. pp. 89-95.

