



Caracterización Mineralógica como Pieza Clave del Conocimiento Fomento Minero para el Mejoramiento de la Minería Aurífera del País.



Autores:
**Grupo de Gestión para La Formalización
Minera - Dirección de Formalización
Minera - Ministerio de Minas Y Energía**

Resumen

Dentro de los ejes estratégicos del Ministerio de Minas y Energía - MME se encuentra el desarrollo de un programa de Fomento Minero como parte de los objetivos propuestos en el Plan Nacional de Desarrollo "Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad", que busca consolidar la actividad minera con una visión de negocio y acorde con los retos de responsabilidad social, ambiental, empresarial y técnica en su desarrollo.

En el marco de los atributos fundamentales que se pretende visualizar con este programa para nuestra población minera, está lograr un operador legal, emprendedor, responsable, influyente y confiable, permitiendo desarrollar un sector con legalidad, emprendimiento y equidad en el país. Este esfuerzo, además, se centra en la visión estratégica de negocio,

buscando entre otros, diversificar la matriz de minerales y aumentar la producción a través de la prestación de diversos servicios en asistencia técnica y acompañamiento en temas relacionados con el recurso minero,

los procesos productivos, fortalecimiento de las competencias y habilidades del recurso humano en temas técnicos y ambientales, orientados al uso de tecnologías limpias para el beneficio de minerales con buenas prácticas en los procesos mineros de transformación y beneficio, lo cual redundará en el emprendimiento laboral y el mejoramiento de las condiciones sociales, ambientales y de salubridad tendientes a un desarrollo sostenible del sector.

Una de las estrategias para lograr este propósito es la generación de conocimiento del recurso minero, el cual permitirá identificar no solo la potencialidad de un depósito mineral, entre ellos los auríferos, sino también contar con una caracterización mineralógica que permita establecer rutas metalúrgicas para un mejor aprovechamiento



adaptaciones, mejoramientos e implementaciones de nuevas tecnologías en la operación minera y su beneficio. Es así, como el MME junto con aliados estratégicos, como el Servicio Geológico Colombiano -SGC-, ha venido realizando este tipo de caracterizaciones obteniendo como resultado a la fecha diez (10) "Guías Metodológicas para el Mejoramiento Productivo del Beneficio de oro" publicadas y cuatro (4) en elaboración, con las cuales se logra el mejoramiento productivo del beneficio de minerales. Con este compromiso de aportar a través de la generación del conocimiento y mejoramiento en los procesos productivos, como se describe en el segmento III de este artículo, desarrollamos en el norte del Cauca un proceso en el cual se compara la recuperación de oro obtenida antes y después de la intervención. Este proceso que, resulta aplicable en todas las escalas de la minería y contribuye en la solución de la necesidad que tiene el país de fomentar alternativas tecnológicas de producción más limpia para los procesos de beneficio, constituye un servicio que hace parte del programa de Fomento Minero.

Palabras Clave

Beneficio, Fomento, Mineralogía, Producción Limpia, Conocimiento.

Abstract

Within the strategic goals of the Ministry of Mines and Energy (MME) is the development of a Mining Promotion program these objectives are proposed in the National Development Plan "Pact for Colombia, Pact for Equity", the proposed objectives seeks to consolidate the mining activity with a create a business vision that line is in with the challenges of social, environmental, business and technical responsibility in its

development.

The framework of the fundamental attributes that this program intends to visualize for our mining population, it is to achieve a legal, entrepreneurial, responsible, influential and reliable operator, allowing the development of a sector with legality, entrepreneurship and equity in the country. This effort is also focused on the strategic business vision, seeking among other things to diversify the mineral matrix and increase production through the provision of various services in technical assistance and support on issues related to the mining resource, production processes, strengthening the skills and abilities of human resources in technical and environmental issues, oriented to the use of clean technologies for the benefit of minerals with good practices in the transformation and benefit mining processes, which results in the labor entrepreneurship and improvement of social, environmental and health conditions aimed at sustainable development of the sector.

One of the strategies to achieve this purpose is creative of a knowledge base of the mining resource, including gold deposits but also having a mineralogical characterization that allows establishing metallurgical routes for a better rational use of the resource, leads to adaptations improvements and implementations of new technologies in the mining operation and its benefit. Thus, the MME, together with strategic allies, such as the Colombian Geological Survey -SGC-, has been carrying out this type of characterization, obtaining as a result ten (10) published "Methodological Guides for the Productive Improvement of the Gold Processing" and four (4) in elaboration, with which the productive improvement of the mineral benefit is achieved. With this commitment to contribute through the genera-

tion of knowledge and improvement in production processes, as described in segment III of this article, we developed a process in the north of Cauca in which the recovery of gold obtained before and after the intervention. This process, which is applicable at all mining scales and contributes to solving the country's need to promote cleaner production technology alternatives for beneficiation processes, constitutes a service that is part of the Mining Promotion program.

Key Word

Benefit, Promotion, Mineralogy, Clean Production, Knowledge

Introducción

Este artículo parte de los esfuerzos que a corto y mediano plazo se ha propuesto el Ministerio de Minas y Energía, los cuales están enmarcados en los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, que para el sector son: i) consolidar el sector minero energético como dinamizador del desarrollo de territorios sostenibles; y ii) promover el desarrollo y competitividad de la industria minero-energética, donde se destaca el sector minero como uno de los motores de crecimiento económico para el país, al tiempo que prevé el diseño e implementación de estrategias y mecanismos que contribuyan a su fortalecimiento para que cumpla con los estándares técnicos, de seguridad minera, laborales, económicos y medioambientales (Minenergía, 2020).

Segmento I:

Transformación Sectorial Con Fomento Minero

En desarrollo de uno de los pilares de trabajo trazados por el MME, relacionado con la legalidad y el fomento

en el sector minero, se avanza en la conceptualización, diseño y puesta en marcha de un programa de fomento minero, como elemento fundamental en la generación de la estrategia de negocio minero y como herramienta para impactar en el mejor desempeño empresarial de los operadores mineros del país.

Esta iniciativa de transformación minera incluye los esfuerzos que se vienen realizando para lograr el tránsito a la legalidad de un segmento importante de operadores mineros que tienen vocación de formalizar sus operaciones desde la perspectiva minera y ambiental. Así mismo, incluye la consolidación y acompañamiento a proyectos mineros de cualquier escala que aporten a la diversificación de la canasta minera nacional, por cuanto el fomento estaría orientado a atender el gran segmento de titulares mineros con quienes se vislumbran importantes oportunidades de acompañamiento para mejorar su viabilidad.

Sin duda, una motivación para emprender esta iniciativa sobre fomento minero está relacionada con la importancia que tiene el sector minero para Colombia y sus regiones, que en cifras macroeconómicas puede resumirse en estos datos: 1,6% del PIB, 350 mil empleos directos, más de un millón de empleos indirectos, 20% de las exportaciones, 13% de la inversión extranjera directa y 20% de las regalías (en 2019 aportó \$2,5 billones de pesos en regalías). (Minenergía, 2020)

Así, impulsar la transformación minera requiere fortalecer la función de fomento a la minería con miras a contar con los mejores operadores mineros con visión de negocio. Para esto, se ha diseñado este programa de fomento minero, entendido como uno de varios



instrumentos de la política minera del país, cuya conceptualización, premisas de trabajo, objetivos y diseño programático y operativo, incluye el recurso minero. Un mejor conocimiento permite lograr un mayor aprovechamiento racional de los minerales, donde un elemento fundamental es aunar esfuerzos para contar con la caracterización de los depósitos minerales con los que cuenta el país.

aplicando, como ha sido el caso de la minería aurífera, para enriquecerlo con un enfoque de negocio y competitividad. Esto con el fin de que Colombia cuente en el futuro con un sector orgulloso de sus mineros y mineras legales, emprendedores/emprendedoras, responsables, influyentes y confiables, atributos que, tal como se ha indicado en este artículo, hacen parte del objetivo aspiracional del MINERO 5.



Segmento II:

Caracterización Mineralógica, Oportunidad para el Mejora- miento Tecnológico en la Minería Aurífera del País.

En razón a las brechas identificadas en el sector y la necesidad de conocimiento del recurso minero en territorio, el programa de fomento incluye elementos relacionados con el “recurso minero / gestión ambiental” y el desarrollo de las líneas estratégicas de asistencia

La conceptualización de una nueva visión del fomento minero responde al propósito superior del Gobierno nacional de transformar la minería del país para convertir la riqueza del subsuelo en riqueza del suelo, apalancar el desarrollo en las regiones, traer la institucionalidad al territorio de manera coordinada y consolidar empresas que generen empleos formales y cumplan con los más altos estándares técnicos, de seguridad y de responsabilidad ambiental y social, que las conduzca a ser sostenibles, viables y rentables. De otro lado, se espera contribuir a superar problemáticas existentes en el sector minero, eliminar barreras y brechas técnicas y complementar el énfasis en asistencia técnica que se ha venido

técnica, investigación y desarrollo. Como acción en curso, el SGC y el MME trabajan en un aporte investigativo orientado a impulsar la implementación de tecnologías eficientes en el proceso de beneficio de oro, partiendo del conocimiento geo-metalúrgico de los yacimientos mineros. En línea con lo anterior, el MME viene trabajando en el mejoramiento productivo del beneficio de oro de una manera más limpia mediante alternativas tecnológicas, permitiendo un mejor aprovechamiento del mineral, mayor eficiencia y productividad, todo ello fundamentado en la profundización del conocimiento geológico, metalogénico,

mineralógico, metalúrgico y físico-químico de los depósitos minerales, en alianza con entidades adscritas al sector además de universidades, cooperantes, SENA, entre otras.

Como resultado del trabajo conjunto entre el MME y el SGC, se logró la construcción de guías metodológicas en zonas de Antioquia, Bolívar, Caldas, Cauca, Córdoba, Chocó, Huila, Nariño y Risaralda. Estas indican la situación actual de la zona minera abordada, la metodología de trabajo, aspectos geológicos, metalúrgicos, químico y ambientales, para finalmente indicar una propuesta de ruta metalúrgica y estudio económico y financiero. Vale la pena resaltar que la guía metodológica no se centra solamente en definir elementos tecnológicos, sino que indica aspectos para realizar un análisis económico y financiero riguroso, con el fin de establecer la conveniencia de emprender exitosamente un proyecto minero y efectuar una asignación eficiente de recursos.

Segmento III:

Estudio De Caso: Zona Norte Del Cauca

En este segmento se tomará como referencia la guía metodológica llevada en el 2017 en Cauca, específicamente en la zona aurífera enmarcada por Suárez, Buenos Aires y El Tambo, ubicados en el valle del río Cauca sobre el piedemonte oriental de la cordillera occidental.

Cabe resaltar que estos municipios registran producción de oro históricamente, reportando para la vigencia del 2019, 606,032 gr de oro, correspondiente al 70% de la producción total del Cauca (UPME, 2020).

Esta guía está conformada por cinco (5) capítulos, a saber: i) geológico; ii) metalúrgico; iii) químico-ambiental; iv) ruta metalúrgica; y v) estudio económico y financiero, los cuales obedecen al resultado del análisis de muestras tomadas en zonas mineralizadas, plantas de beneficio, relaves, sedimentos y quebradas.

El primer capítulo se fundamenta en el conocimiento de la composición mineralógica de los depósitos, ya que estos determinan el comportamiento de las menas en los procesos de beneficio. Para el caso del estudio descrito, se confirmó que las alteraciones hidrotermales se encuentran restringidas a las zonas de contacto con cuerpos intrusivos y zonas de fallas. Dichas alteraciones se complementan con un área de alteración de la roca supérgena (meteorización superficial), lo cual conlleva a determinar tres (3) tipos de unidades geometalúrgicas a analizar:

Figura 2. Panorámica de la Cordillera Occidental donde se ubica la zona minera de Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca)



Fuente: Guía metodológica; Suárez, Buenos Aires y El Tambo



- La primera, considerada de alta complejidad mineralógica, corresponde a aquellas menas con altos contenidos de pirrotina, pirita framboidal, calcopirita y arsenopirita, ya que estos minerales interfieren en la cinética de la cianuración. A este grupo pertenecen las minas de Buenos Aires del sector de Higuerillos, Pailas y Loma Alta, localizadas a lo largo del río La Teta, sobre el borde occidental del cuerpo ígneo de Santa Catalina. En Suárez se incluyen las minas del borde oriental del cuerpo magmático de Pasobobo, en la vereda La Turbina. Fuente: Guía metodológica; Suárez, Buenos Aires y El Tambo MME-SGC (2017).
- La segunda es de complejidad menor frente a la

Figura 3. Diagrama frente de mina unidad geometalúrgica 1



Fuente: Guía metodológica; Suárez, Buenos Aires y El TamboMME-SGC (2017)

primera, con una tendencia de mineralización compuesta por una menor proporción de pirrotina, calcopirita y arsenopirita, y mayor cantidad de pirita, cuarzo y carbonatos; contiene menos minerales reactivos en cianuración y corresponde con menas auríferas de menor complejidad. A este grupo pertenecen las minas alejadas de los focos principales de mineralización, y se incluyen la mina La Vetica en Buenos Aires, y las minas de Maravélez y El Danubio, en Suárez.

Figura 4. Diagrama frente de mina unidad geometalúrgica 2.



Fuente: Guía metodológica; Suárez, Buenos Aires y El TamboMME-SGC (2017)

- La tercera y última tendencia de mineralización, considerada de baja complejidad mineralógica, compuesta principalmente de pirita y cuarzo, salvo la presencia de telururos asociados con oro, que se encuentran en baja proporción y pueden generar retardos en la lixiviación del oro, están incluidas en las minas de El Tambo, en el sector de California y San Francisco.

Figura 5. Diagrama frente de mina unidad geometalúrgica 3.



Fuente: Guía metodológica; Suárez, Buenos Aires y El TamboMME-SGC (2017)

Además del análisis geometalúrgico, se determinó la distribución granulométrica del oro en veta, identificándose un tamaño fino menor de 100 μm , y algunos granos individuales de mayor tamaño, que alcanzan los 250 μm en Buenos Aires, 150 μm en Suárez y los 250 μm en El Tambo.

De acuerdo con los resultados, en el segundo capítulo se abordan temas metalúrgicos, resaltando la importancia del proceso de conminución (trituración y molienda), primera etapa en el procesamiento de minerales. A este proceso se acreditan varios intereses: producir partículas de tamaño y forma adecuados para su utilización directa; liberar los minerales valiosos de la ganga, con el objetivo de ser concentra-

dos mediante procesos físicos y/o químicos; y, por último, aumentar el área superficial disponible para reacción química, las cuales se deben realizar por etapas para reducir los costos de energía. La reducción en una sola etapa incurre en mayores gastos energéticos y costos de operación debido al mayor desgaste de los equipos.

Es de mencionar que en el análisis de la zona de estudio no se aplicaba trituración

secundaria en el proceso de beneficio, por lo que se recomendó y acogió llevar a cabo las dos operaciones unitarias (trituración primaria y secundaria), lo cual evita gastos innecesarios de energía, demoras en el tiempo de operación y permite un mayor control de la molienda. En las figuras 3 y 4 se ilustra el diagrama de flujo que los mineros estaban desarrollando y la propuesta establecida en el estudio para las unidades geometalúrgicas dos y tres.

En el análisis de tamaño de partícula, los resultados arrojaron que, en un rango de 106 a 75 micrones, el 75% de los sulfuros estaban liberados. Mientras, en un tamaño de 45 micrones se liberó el 90%. Lo anterior

demostró que la remolienda ultrafina (<20 micras) es fundamental para alcanzar recuperaciones superiores al 90% en la cianuración.

El diagrama de flujo descrito en la figura 4 se fundamenta en tener un medio de concentración gravimétrico para clasificar el material, recuperar el oro grueso por refinación y posteriormente remoler las arenas del

Figura 6. Diagrama de Flujo Proceso antes de intervención

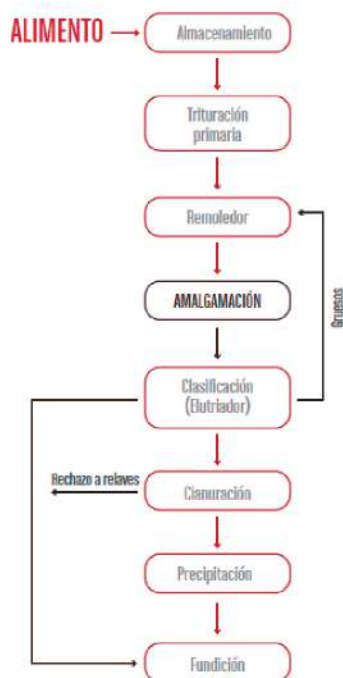
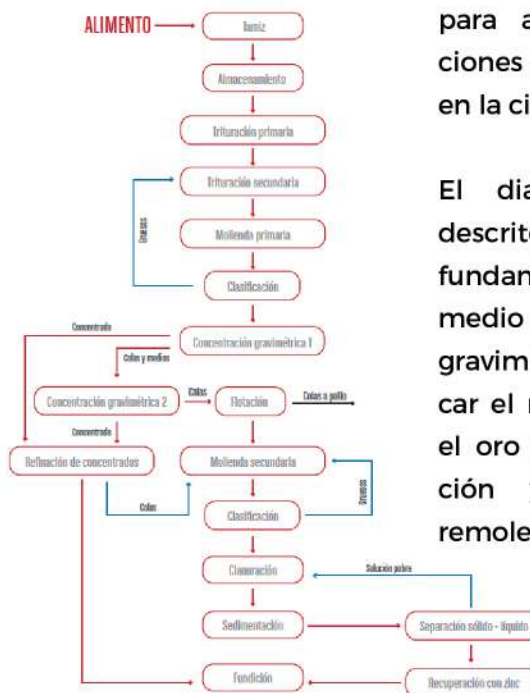


Figura 7. Diagrama de Flujo Proceso planteado unidades geometalúrgicas dos y tres



Fuente: Guía metodológica; Suárez, Buenos Aires y El TamboMME-SCG (2017)



En el tercer capítulo se abordan aspectos químicos-ambientales, que establecen el tratamiento a implementar para las soluciones residuales del proceso, enfocándose en la descomposición de cianuro libre con peróxido de hidrógeno y la descomposición de cianuros complejos con la coprecipitación de metales utilizando sulfato ferroso, para así cumplir con la reglamentación establecida en el Decreto 631 de 2015 sobre la descarga de vertimientos generados por actividad minera. También se determinó realizar un lavado de las arenas residuales generadas en los procesos de beneficio de minerales que presentan bajas concentraciones de calcio antes de disponerlas en los relaves. Considerando la caracterización geológica descrita y los análisis técnicos, se implementan tres (3) estrategias metalúrgicas para producción más limpia, así: i) obtención de concentrados de sulfuros metálicos como: pirita, pirrotina, calcopirita y arsenopirita junto con el oro para comercializarlo como concentrado de oro y metales; ii) extracción del oro por medio de métodos gravimétricos y químicos; y iii) extracción de oro grueso por gravimetría y venta del rechazo. El resultado del estudio se viene implementando por la comunidad minera de la zona, toda vez que se logró constatar el aumento de la recuperación de oro en un 18%, con la implementación de las rutas descritas en la Guía Metodológica. De acuerdo con lo expuesto, se evidencia la importancia de la generación de conocimiento sobre recurso minero, el cual busca optimizar no solo el aprovechamiento del mineral de oro, sino también disminuir los impactos, siendo necesario continuar con la generación de alianzas estratégicas tanto con las entidades del Estado como con cooperantes internacionales y los habitantes del



territorio. Esto permite impulsar un desarrollo armónico y sustentable de la actividad, toda vez que el conocimiento del recurso es la base para el mejoramiento productivo.

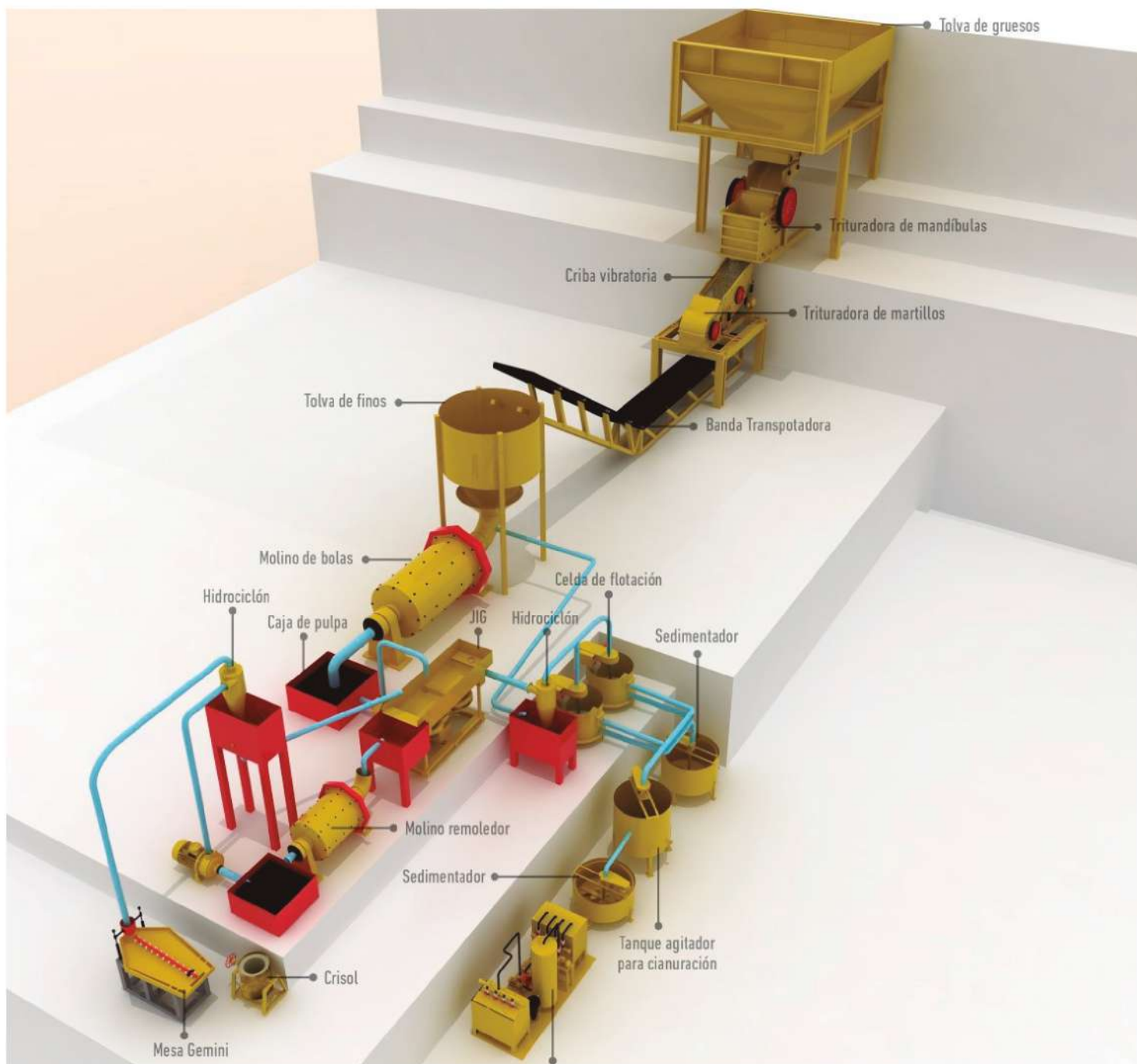
Conclusiones y Recomendaciones

- De acuerdo con lo planteado en el artículo, el eje de legalidad y fomento plantea cumplir el precepto de este gobierno de desarrollar un sector con legalidad y emprendimiento que genere equidad en el país. Esto dentro de una visión estratégica del negocio minero que permita lograr un ideal de empresario minero y una contribución efectiva al desarrollo local.
- Se recomienda tener como base la generación del conocimiento del recurso minero, para cualquier proceso ya que permitirá identificar la potencialidad de un depósito mineral, contar con una caracterización mineralógica que establezca rutas metalúrgicas para un mejor aprovechamiento racional del recurso.
- Cabe resaltar la importancia del trabajo mancomunado con aliados estratégicos que permiten realizar aportes investigativos, orientados a impulsar la implementación de tecnologías eficientes en el proceso de beneficio de oro, partiendo del conocimiento geo-metalúrgico de los yacimientos mineros con la finalidad de aumentar la productividad aurífera de manera sostenible.

Bibliografía

- SGC Y MME. (Junio de 2018). Ministerio de Minas y Energía y Servicio Geológico Colombiano. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/guia-metodologica-para-el-mejoramiento-productivo-del-beneficio-del-oro-sin-el-uso-del-mercurio-sua-rez-buenos%20aires-el-tambo-cauca-digital.pdf>
- UPME. (21 de Septiembre de 2020). Unidad de Planeación Minero Energética. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/oro.aspx>
- MMM. (2020). Ministerio de Minas y Energía, Dirección de Formalización Minera.

Figura 8. Ruta Metalúrgica.



Fuente: Guía metodológica; Suárez, Buenos Aires y El Tambo MME-SCC (2017)

EMPRE

Si está interesado en aprendices o Contáctanos!

Ana Milena Arteaga González

Coordinador Académico

Tel.: +57 (4) 576 0000 Ext. 45103

E-mail: semolina@sena.edu.co

Luis Carlos Pineda Montiel

Coordinador de Formación

Tel.: +57 (4) 576 0000 Ext. 45126

E-mail: lcpineda@sena.edu.co

Mary Yanet Vargas Valencia

Líder de Etapa Productiva y Contrato de Aprendizaje

Tel.: +57 (4) 576 0000 Ext. 45213

E-mail: myvargasv@sena.edu.co

Laura Cristina Chica Daza

Líder de Agencia Pública de Empleo

Tel.: +57 (4) 576 0000 Ext. 45127

E-mail: lchica@sena.edu.co



**Centro de Formación
Minero Ambiental**
Regional Antioquia - El Bagre



RESUMEN

egresados SENA para su empresa...



El empleo
es de todos

Mintrabajo



www.sena.edu.co