

ÍQUIRA (HUILA)



GUÍA METODOLÓGICA
PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO
DEL BENEFICIO DE ORO
SIN EL USO DE MERCURIO.

ÍQUIRA (HUILA)



El futuro
es de todos

Minenergía

www.sgc.gov.co

GUÍA METODOLÓGICA

PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO
DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO.
ÍQUIRA (HUILA)



El futuro
es de todos

Minenergía

© Servicio Geológico Colombiano

GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DEL MERCURIO. ÍQUIRA (HUILA)

Bogotá, Colombia

Este documento se ha elaborado en el marco del Convenio Inter administrativo GGC n.º 311 del 2017 celebrado entre el Ministerio de Minas y Energía y el Servicio Geológico Colombiano, cuyo propósito fue la elaboración de una guía metodológica mediante la caracterización mineralógica, química, metalúrgica y ambiental de la zona minera de Íquira (Huila), aplicada al mejoramiento productivo de la extracción del oro sin el uso del mercurio en el proceso de beneficio en la pequeña minería de Colombia.

Este documento debe citarse: Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía, GUÍA metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso del mercurio. Íquira (Huila). Bogotá, Colombia 2018.

Ministerio de Minas y Energía
Viceministerio de Minas
Dirección de Formalización Minera

Servicio Geológico Colombiano
Dirección de Laboratorios, Grupo de Trabajo Cali.

Fotografía de portada: plano general de una planta de beneficio en zona minera de Íquira (Huila), nos muestra un ejemplo de la infraestructura utilizada en el proceso de extracción de oro. Fotografía tomada por Harold Concha.

ISBN: 978-958-59782-9-4



9 789585 978294

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

MARÍA FERNANDA SUÁREZ LONDOÑO
Ministra

PABLO CÁRDENAS REY
Secretario general

CAROLINA ROJAS HAYES
Viceministra de minas

JHON LEONARDO OLIVARES RIVERA
Director de Formalización Minera (E)

GILSON LEÓN GONZÁLEZ
Supervisor del convenio

CAMILO ENRIQUE ÁLVAREZ
Equipo jurídico-contractual

📍 Punto de atención presencial: Calle 43 n.º 57-31 CAN, Bogotá D. C., Colombia
☎ PBX: (57) +1 2200300 / Línea gratuita nacional: 01 8000 910 180
✉ Código postal 111321

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

OSCAR PAREDES ZAPATA
Director general

IVÁN SARMIENTO GALVIS (2017)
ÉDGAR URIEL RODRÍGUEZ ROMERO (2018)
Secretario general

HÉCTOR MANUEL ENCISO PRIETO
Director técnico de laboratorios

JORGE IVÁN LONDOÑO ESCOBAR
Supervisor del convenio

LINA PAOLA BARRERA STERLING (2017)
LUIS CARLOS QUINTERO MARTÍNEZ (2018)
Apoyo a la supervisión del convenio

MÓNICA PONGUTÁ ACHURY (2017)
CAROLINA DEL PILAR PINEDA MURCIA (2018)
Grupo de trabajo contratos y convenios

OLGA PATRICIA ROCHA SÁNCHEZ
Grupo de trabajo planeación

📍 Punto de atención presencial: Diagonal 53 n.º 34-53, Bogotá D. C., Colombia
☎ PBX: (57) +1 2200200 - 220 0100 - 222 1811 - 222 07 97 / Línea gratuita nacional: (571) 01 - 8000 110842
✉ Código postal 110842

PRESENTACIÓN

La presente *GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DEL ORO SIN EL USO DEL MERCURIO. ÍQUIRA – HUILA* se traduce en un aporte significativo del Servicio Geológico Colombiano a la minería en Colombia, atendiendo un claro compromiso del Ministerio de Minas y Energía por la preservación de la salud humana y la mitigación de los impactos ambientales generados por el desarrollo de actividades mineras, en especial aquellas que no cumplen plenamente con las normas y mandatos, nacionales e internacionales, orientadas hacia la eliminación del uso del mercurio en la actividad industrial minera.

Ésta guía metodológica y la generación de conocimiento geocientífico, en general, que realiza el Servicio Geológico Colombiano es consonante con lo preceptuado en las bases para la consolidación de una política de Estado en ciencia, tecnología e innovación (*artículo 3º. Ley 1286 de 2009 por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a COLCIENCIAS en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones.*), entre las que se destacan: *Incorporar la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación a los procesos productivos, para incrementar la productividad y la competitividad que requiere el aparato productivo nacional; Integrar esfuerzos de los diversos sectores y actores para impulsar áreas de conocimiento estratégicas para el desarrollo del país; promover el desarrollo de estrategias regionales para el impulso de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, aprovechando las potencialidades en materia de recursos naturales.*

El Ministerio de Minas y Energía, mediante la adopción de la “Política Minera Nacional”, estableció claramente que “... *El objetivo fundamental es que la actividad minera en todas sus escalas, se desarrolle de forma ordenada, incluyente, competitiva y responsable*”, ante lo cual el Servicio Geológico Colombiano, dentro de los ámbitos de su competencia como Entidad perteneciente al Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación, genera nuevo conocimiento geocientífico, aportando en la solución de la necesidad que tiene el país de fomentar alternativas tecnológicas de producción más limpia para los procesos de beneficio de oro que conduzcan a la eliminación del uso del mercurio.

A lo largo de ésta guía metodológica, el lector podrá encontrar una descripción integral de los resultados del estudio, para lo cual, se incluyen capítulos como el Marco de Referencia, donde se indica la situación actual de la zona minera de Íquira, los objetivos y el alcance de la guía; Metodología de Trabajo; Aspectos Geológicos, Metalúrgicos, Químico y Ambientales; Ruta Metalúrgica Propuesta; Estudio Económico y Financiero.

Vale la pena resaltar, que la guía metodológica no se centró solamente en definir elementos puramente tecnológicos, sino que se consideró relevante y necesario realizar un análisis económico y financiero riguroso y real, con fin de establecer la conveniencia de emprender exitosamente un proyecto minero y efectuar una asignación eficiente de recursos. En este capítulo se incluyen los fundamentos metodológicos, mínimamente necesarios, para que el minero pueda realizar un ejercicio de planeación y evaluación financiera de la operación futura de su planta de beneficio, utilizando la ruta metalúrgica propuesta en esta guía.

Oscar Paredes Zapata
Director General
Servicio Geológico Colombiano

AGRADECIMIENTOS

El Ministerio de Minas y Energía y el Servicio Geológico Colombiano (SGC) agradecen sinceramente a todas las personas que realizaron aportes al desarrollo de la presente guía metodológica, quienes se mencionan en los listados de participantes, como a los integrantes del equipo de trabajo y a la Universidad Nacional de Colombia.

Asimismo, agradecen a la Cooperativa Multiactiva Agrominera del municipio de Íquira (Huila) por abrir sus puertas y recibir a las instituciones para permitir la investigación, el reconocimiento y el muestreo en las diferentes minas y plantas de beneficio.

GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO. ÍQUIRA (HUILA)

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

AUTORES SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

Director Técnico de Laboratorios SGC:
Héctor Manuel Enciso Prieto. Químico, Magister en Administración

Coordinador del Grupo de Trabajo Cali SGC y supervisor del Convenio Interadministrativo GGC 311 de 2017:

Jorge Iván Londoño Escobar. Ingeniero químico, MSc en Ciencias Químicas

Apoyo a la coordinación y supervisión del Convenio GGC 311 de 2017 - Sede SGC Bogotá:

Lina Paola Barrera. Ingeniera Química, especialista en Ingeniería Ambiental - 2017

Luis Carlos Quintero. Geólogo, Administrador Público - 2018

GRUPO DE GEOLOGÍA

Jaime Mojica. Geólogo, experto en petrografía (Responsable del grupo)

Sonia Rojas Barbosa. Geóloga, MSc en Ciencias Geología

Óscar David Cardona Sánchez. Geólogo

Paulo Duarte Hernández. Geólogo

Eliana Molina Ramírez. Pasante de Geología

GRUPO DE METALURGÍA

Harold Concha. Ingeniero químico, especialista en Metalurgia (Responsable del grupo)

Wilmar David Montenegro. Ingeniero Químico (Responsable de mantenimiento y calibración de equipos)

Benedicto Galindo Aguirre. Ingeniero Metalúrgico

Fabián Ramírez Pita. Ingeniero Metalúrgico

Silvia Fuentes Torres. Ingeniera Metalúrgica

Jhon Alejandro Espinal. Pasante de Ingeniería Química

GRUPO DE QUÍMICA

Verónica Ruiz Solano. Química, MSc en Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Responsable del grupo)

Viviana Pérez. Química, (Responsable de gestión de calidad)

Yolanda Cañón Romero. Química, especialista en Ing. Sanitaria y Ambiental

Annie Alexandra Arango. Tecnóloga Química

Daniel Castañeda Pinzón. Tecnólogo Químico

Giovanni Andrés Alarcón. Técnico Operativo

Liseth Irene Franco. Pasante de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA

Yury Marentes Laverde. Economista

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Juan Sebastián Garzón. Diseñador Industrial

IMPRESIÓN

Imprenta Nacional de Colombia

Primera edición
Bogotá, Colombia. 2018

GRUPO TÉCNICO UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS



GRUPO DE MINEROS DE LA COOPERATIVA MULTIACTIVA AGROMINERA DEL MUNICIPIO DE ÍQUIRA-HUILA

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	
AGRADECIMIENTOS	
EQUIPO DE TRABAJO	8
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA	15
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	17
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD	19
1.3. OBJETIVOS	22
1.3.1. Objetivo General	22
1.3.2. Objetivos Específicos	22
1.4. ALCANCE	23
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	24
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	27
2.2. MUESTREO	27
2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	27
2.4. PRUEBAS	27
CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	28
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	30
3.1.1. Municipio de Íquira	31
3.1.3. Vías de acceso	32
CAPÍTULO 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS	33
4.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS : GEOLOGÍA Y YACIMIENTOS MINERALES	35
4.1.1. Generalidades de los yacimientos auríferos	35
4.1.2. Identificación de minerales en el frente de mina	39
4.1.3. Sulfuros metálicos asociados a la mena	40
4.1.4. Tipos de ocurrencia de oro	41
4.2. GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE LA ZONA MINERA DE Íquira (Huila)	42
4.2.1. Geología regional	42
4.2.2. Geología local y mineralogía de la mena	43
4.2.2.1. Geología local	43
4.2.2.2. Geología estructural	43
4.2.2.3. Alteración hidrotermal	44
4.2.2.4. Metalogénesis y mineralización aurífera	45
4.2.2.5. Rango en la composición de los minerales en las menas	46
4.2.2.6. Ocurrencia de oro en la veta	46
4.2.2.7. Tamaño de partículas de mena y oro	47
4.3. CONSIDERACIONES EN GEOLOGÍA Y EN MINERALOGÍA	48
CAPÍTULO 5. ASPECTOS METALÚRGICOS	49
5.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS : PROCESO DE BENEFICIO METALÚRGICO	51
5.1.1. Beneficio de minerales en planta	51
5.1.2. Proceso de conminución (trituration y molienda)	52
5.1.2.1. Trituración primaria (gruesos)	53
5.1.2.2. Trituración secundaria (finos)	54
5.1.2.3. Molienda	55
5.1.3. Clasificación granulométrica	57
5.1.4. Clasificación hidráulica	58
5.1.5. Concentración de minerales auríferos por gravimetría	60
5.1.6. Concentración de minerales auríferos por flotación	62
5.1.7. Cianuración	63
5.1.7.1. Precipitación por el proceso de Merrill Crowe	65
5.1.8. Fundición	66

CONTENIDO

CAPÍTULO 6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES	67
6.1. CONTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS Y QUÍMICO AMBIENTALES	69
6.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICO - AMBIENTALES	70
6.2.1. Contaminación por mercurio en minería	70
6.2.1.1. Ciclo del mercurio	70
6.2.2. Uso del mercurio y su normatividad en Colombia	71
6.2.3. Análisis químicos aplicados para la caracterización y control de procesos metalúrgicos y ambientales	71
6.2.3.1. Espectrofotometría de absorción atómica	72
6.2.3.2. Espectrofotometría de ultravioleta visible	72
6.2.3.3. Potenciometría del ion cianuro	72
6.2.4. Tratamientos para la descomposición de cianuro: formas libre y complejo	73
6.2.4.1. Cianuro y sus formas	73
6.2.4.2. Tratamientos de descomposición: uso del peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso y prueba de control ambiental	74
6.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICO AMBIENTALES DE LA ZONA MINERA	78
6.3.1. Puntos críticos identificados en las plantas de beneficio	78
6.3.2. Caracterización química por espectrofotometría de rayos X (FRX)	78
6.3.3. Caracterización química por espectrofotometría de absorción atómica (AAS)	79
6.3.4. Determinación de peligrosidad	79
6.3.4.1. Tratamiento para la descomposición de cianuro	80
6.4. CONSIDERACIONES AMBIENTALES	81
CAPÍTULO 7. RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA	82
7.1. PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE	84
7.2. PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO SEGÚN LA MINERALOGÍA	85
7.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA EL BENEFICIO SUGERIDO	86
7.4. MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA	88
7.5. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA	89
7.5.1. Diagrama de flujo de planta de beneficio a largo plazo	90
7.6. CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LAS OPERACIONES ACTUALES	92
7.7. CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LA RUTA METALÚRGICA PROPUESTA	93
7.8. CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LA SUSTITUCIÓN DE LA AMALGAMACIÓN	95
CAPÍTULO 8. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO	96
8.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	98
8.1.1. Generalidades sobre los proyectos de inversión	98
8.1.1.1. Definición	98
8.1.1.2. Clasificación	98
8.1.1.3. El ciclo de los proyectos	98
8.1.2. Estudio y evaluación financiera de proyectos de inversión	99
8.1.2.1. Propósito del estudio financiero	99
8.1.2.2. Etapas del estudio financiero	100
8.1.2.3. Propósito de la evaluación financiera	100
8.1.2.4. Etapas de la evaluación financiera	100
8.2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	102
8.2.1. Estudio financiero	102
8.2.1.1. Identificación y valoración de la inversión inicial	102
8.2.1.2. Identificación y valoración de costos de operación	103
8.2.1.3. Identificación y valoración de ingresos de operación	108
8.2.2. Evaluación financiera	109
8.2.2.1. Construcción del flujo de caja del proyecto	109
8.2.2.2. Aplicación de métodos para evaluar proyectos	110
8.3. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	111

CONTENIDO

8.3.1.	Resultados e interpretación de indicadores de evaluación financiera	113
8.4.	ESTUDIO FINANCIERO OPERACIÓN ACTUAL FRENTE A OPERACIÓN FUTURA	113
8.4.1.	Resultados de la operación actual	114
8.4.2.	Resumen de indicadores de operación actual frente a operación futura	115
8.4.3.	Análisis de resultados de indicadores de operación actual frente a operación futura	115
8.5.	CONSIDERACIONES ECONÓMICAS SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL	116
8.6.	CONSIDERACIONES ECONÓMICAS ACERCA DE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO	117

GLOSARIO
REFERENCIAS

INTRODUCCIÓN

Mediante la resolución n.º 40391 del 20 de abril del 2016, el Ministerio de Minas y Energía adoptó la Política Minera Nacional, donde se establece que “[...] El objetivo fundamental es que la actividad minera en todas sus escalas, se desarrolle de forma ordenada, incluyente, competitiva y responsable...”. Esta política destaca, entre otros, los siguientes aspectos:

- Los problemas que enfrenta el país en torno a la minería de pequeña y mediana escala son numerosos y disímiles.
- Se requiere generar herramientas y estrategias de apoyo a los mineros para que con ayuda del Estado formalicen su actividad y mejoren sus condiciones de vida.
- Altos niveles de ilegalidad o informalidad en la actividad minera.
- La necesidad de articulación entre los diferentes estamentos del Estado para la eliminación del uso del mercurio en la actividad minera.

Para abordar la situación descrita, la Política Minera Nacional establece para la pequeña minería, entre otras, las siguientes líneas estratégicas:

- Apoyo para la regularización de la actividad minera.
- Asistencia técnica.
- Mejores prácticas para el fomento de la pequeña minería.
- Diálogo y coordinación con gobiernos territoriales.
- Mecanismos de participación y diálogo para lograr condiciones de mutua confianza entre los actores involucrados en la cadena de Apoyo para la mejora de las condiciones de vida.

Dentro de este contexto, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), perteneciente al Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTel), adscrito al Ministerio de Minas y Energía, tiene por objeto, entre otras actividades, según artículo 3 del decreto 4131 del 2011, realizar la investigación científica básica y aplicada del potencial de recursos del subsuelo. Adicionalmente, estableció una serie de funciones enfocadas en el desarrollo de actividades entre las que se encuentran: “generar e integrar conocimientos y levantar, compilar, validar, almacenar y suministrar, en forma automatizada y estandarizada, información sobre geología y recursos del subsuelo [...] integrar y analizar la información Geocientífica del subsuelo”.

El SGC debe propender por el cumplimiento de sus objetivos y por el desarrollo de las actividades contempladas en la Ley 1286 del 2009, entre los cuales cabe destacar la generación y uso del conocimiento, a través del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, como actividades esenciales para darle valor agregado a nuestros recursos; crear nuevas empresas basadas en investigación, desarrollo tecnológico e innovación, y alcanzar mayores y sostenidas tasas de crecimiento económico, acumulación y distribución de riqueza, con el objeto de mejorar los niveles de calidad de vida de los ciudadanos.

En este mismo sentido, le corresponde a la Dirección de Laboratorios del SGC, en el marco del decreto 2703 del 2013 “Por medio del cual se establece la estructura interna del SGC y se determinan las funciones de sus dependencias”, realizar, entre otras, las siguientes funciones:

[...] 1. Proponer a la Dirección General, políticas, planes, programas y proyectos en materia de investigación y caracterización de materiales geológicos. 2. Dirigir y realizar la caracterización de materiales geológicos en los componentes químicos, físicos, geotécnicos, petrográficos y metalúrgicos. 3. Dirigir, diseñar, desarrollar e implementar nuevos ensayos de laboratorio y de campo que cumplan con los requerimientos de los planes, programas y proyectos del Servicio Geológico Colombiano (SGC). 6. Dirigir y realizar investigaciones asociadas con la caracterización, procesamiento y utilización de materiales geológicos. 7. Dirigir y realizar acciones encaminadas al aseguramiento de la calidad de los resultados de los ensayos generados en los laboratorios, de acuerdo con los lineamientos del Subsistema Nacional de la Calidad.

Dentro de las funciones de la Dirección de Laboratorios en el Grupo de Trabajo Caracterización y Procesamiento de Minerales y Carbones, según la resolución 128 del 08 de marzo del 2017, se encuentran:

- Desarrollar proyectos para la caracterización, procesamiento y aprovechamiento de materiales geológicos (carbones y minerales) con énfasis en la promoción minero-ambiental.
- Realizar asesoría técnica en la caracterización, procesamiento y aprovechamiento de carbones y minerales en la pequeña y mediana minería.

En el Plan Estratégico del Conocimiento Geológico del Territorio Colombiano 2014-2023 definido por el SGC, se establece para la Dirección de Laboratorios, en el capítulo 7, numeral 7.2, realizar investigaciones especiales como la de beneficio de minerales y transformación de carbones, por lo que el Laboratorio está enfocado en la generación de estudios y el desarrollo de esquemas técnico-científicos, ambientalmente sostenibles, para el beneficio de minerales como parte de la cadena de valor de la minería. Los temas en los cuales se orienta son:

- Generación de información destinada a la clasificación mineralógica y metalúrgica de zonas auríferas del país.
- Aporte tecnológico a las comunidades mineras mediante diseños productivos, técnicas productivas, métodos determinativos y controles ambientales.
- Entrenamiento a técnicos en procesos de beneficio y análisis químicos.

Del mismo modo, para el desarrollo de sus funciones, la Dirección de Laboratorios del SGC ha partido de las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”, en el cual se continúa consolidando al sector minero-energético como uno de los motores de desarrollo a través de su aporte al crecimiento económico, al empleo rural, a la inversión privada y a la generación de recursos para la inversión social del Estado, y lo concibe como una importante fuente de recursos para la inversión pública, aportando al desarrollo social en armonía con el medio ambiente y con otras actividades productivas, desde una visión territorial y ambientalmente responsable, lo que plantea que para la toma de decisiones que verdaderamente desarrollen el potencial de recursos del subsuelo de Colombia es necesario contar con un conocimiento geológico, geoquímico y geofísico adecuado del subsuelo que permita identificar zonas con potencial mineral.

El SGC-Grupo de trabajo Cali cuenta con una infraestructura tecnológica que incluye una planta piloto de beneficio de minerales, donada por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), la cual ha permitido la realización de estudios asociados al aprovechamiento sostenible de minerales auríferos, permitiendo la verificación y la proyección a escala industrial de las alternativas tecnológicas limpias para el mejor aprovechamiento de los recursos minerales.

La perspectiva desde la cual trabaja la Dirección de Laboratorios del SGC para la sustitución del mercurio se define experimentalmente en la evaluación de las condiciones de las operaciones y procesos metalúrgicos que correspondan, según las características mineralógicas de los depósitos.

Se ha contado con el acompañamiento de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, a través del Departamento de Geociencias con el grupo de investigación Caracterización Tecnológica de Minerales, dirigido por el profesor Juan Carlos Molano, del cual también hace parte la Dirección de Laboratorios del SGC, para el desarrollo de las actividades de la evaluación mineralógica, metalúrgica y ambiental.

La presente guía se realiza con el fin de establecer las características mineralógicas de la zona minera de Íquira (Huila), que permiten deducir y comprobar los procesos y operaciones geometalúrgicas para el mejor aprovechamiento del recurso aurífero sin el uso del mercurio, como un aporte fundamental a las buenas prácticas en minería que ayudarán a contar con un sector organizado, legítimo, incluyente y competitivo.

El Ministerio de Minas y Energía adoptó la Política Minera Nacional, en la cual se establece como objetivo fundamental que la actividad minera, en todas sus escalas, se desarrolle de forma ordenada, incluyente, competitiva y responsable.

Panorámica de la Cordillera Central Íquira (Huila)
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano

1. MARCO DE REFERENCIA



1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad, en la zona minera aurífera de Íquira (Huila) los mineros extraen el material de mena (filones de cuarzo y de sulfuros con contenidos de oro y de plata) y lo benefician en las plantas de procesamiento, mediante procesos de trituración, molienda, concentración, amalgamación (adición de mercurio al mineral para atrapar oro liberado de tamaño mayor que $50\ \mu\text{m}$), cianuración y fundición. Este proceso de extracción y beneficio de oro está parcialmente tecnificado, ya que la recuperación de oro se encuentra entre el 70 % y el 80 %, pero implica la liberación de mercurio al medio ambiente durante las descargas de agua y sólidos provenientes del proceso de amalgamación, en el momento de realizar la fundición de la amalgama, y también al formarse complejos de cianuro y mercurio durante la cianuración de los residuos de amalgamación.

Lo descrito implica, por un lado, una fuerte afectación ambiental y, por otro, incide en bajos niveles de productividad y de rentabilidad financiera para las comunidades de mineros que adelantan esta actividad productiva, ya que existen alternativas tecnológicas y de procesos metalúrgicos más eficientes en la recuperación de oro y ambientalmente sostenibles.

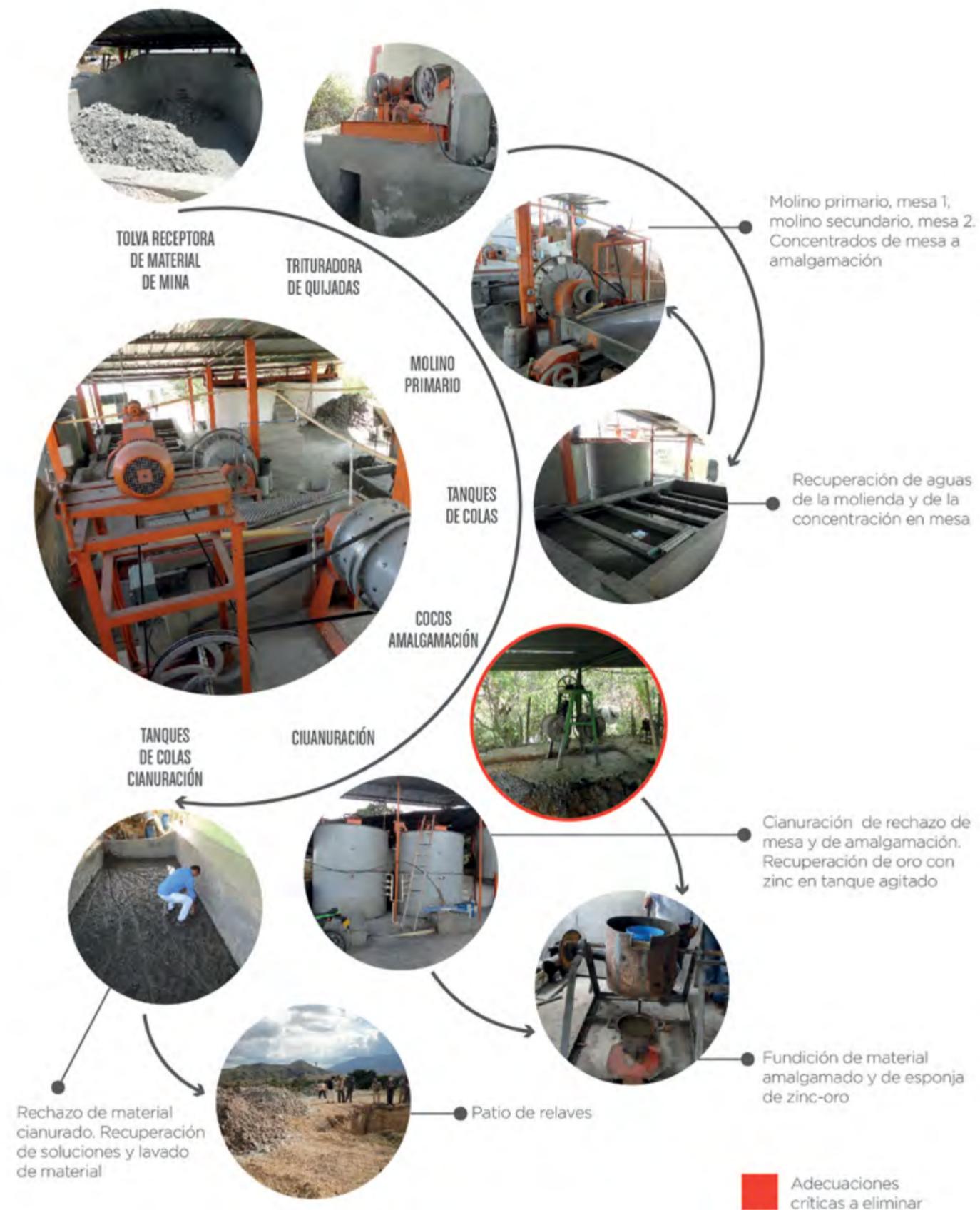


Fotografía 1: "Cocos" de amalgamación. Fuente: Propia.



Fotografía 2: Tanques agitadores para cianuración. Fuente: Propia.

Figura 1.1: Diagrama proceso de beneficio actual en Íquira (Huila).
Fuente: Propia.



1.2. DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD



El Estado colombiano, atendiendo un claro compromiso por la preservación de la salud humana y la mitigación de los impactos ambientales generados por el desarrollo de actividades mineras, en especial aquellas que no cumplen plenamente con los estándares que rigen la industria, ha venido adoptando un marco regulatorio, cuyo propósito es cumplir con los mandatos y normas nacionales e internacionales orientados hacia la reducción y la eliminación del uso del mercurio de la actividad industrial minera.

En este contexto, se expidió la Ley 1658 del 15 de julio del 2013 "Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones", norma que tiene dentro de su alcance y como propósito la eliminación total del mercurio en el proceso de beneficio del oro, estableciendo un plazo máximo de cinco años, es decir, hasta el 2018; esto se logra a través de la implementación de tecnologías limpias en la recuperación del oro, que sean más eficientes que las actuales y que definitivamente no requieran la utilización de mercurio en el proceso de beneficio, en especial en procesos de recuperación de metales preciosos.

Complementario a lo anterior y bajo el liderazgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en diciembre del 2014 se lanzó el Plan Único Nacional de Mercurio, que busca eliminar gradual y definitivamente el uso de mercurio en el sector minero e industrial de Colombia. Dicho plan fue adoptado y acordado entre los siguientes ministerios: Ambiente y Desarrollo Sostenible; Minas y Energía; Salud y Protección Social; Trabajo; Comercio, Industria y Turismo; Relaciones Exteriores; Agricultura y Desarrollo Rural, y Transporte, y dos instituciones del sector minas y energía: Agencia Nacional Minera y la Unidad de Planeación Minero Energética.

El Plan Único Nacional de Mercurio se convierte en la ruta que debe seguir el Gobierno nacional para eliminar el uso del mercurio e implica actividades de inspección, control, vigilancia y gestión de información y del conocimiento en la industria minera, en todo el territorio nacional. Se trata de un esfuerzo conjunto entre los distintos niveles de gobierno; los sectores minero, industrial, comercial, ambiental, salud, trabajo y la sociedad civil en general, para cumplir con los compromisos nacionales e internacionales que han sido establecidos al respecto. Este plan establece lineamientos claros para reducir y eliminar progresivamente el uso del mercurio en las actividades de minería en todo el territorio nacional con plazo a julio del 2018, y en todos los procesos industriales y productivos con plazo a julio del 2023.

El Ministerio de Minas y Energía y sus entidades adscritas y vinculadas, entre ellas el SGC, trabajaron de manera coordinada en el diseño y la concertación del Plan Estratégico Sectorial para la Eliminación del Uso del Mercurio de la Actividad Minera, el cual se desarrolla con objetivos específicos que contribuyen claramente al cumplimiento de las metas establecidas en los cuatro grandes programas del Plan Único Nacional, a saber: programa de fortalecimiento institucional; programa de gestión ambiental, de salud pública, de seguridad y salud en el trabajo, sectorial-tecnológica y social; programa de educación y comunicación, y programa de gestión del conocimiento-investigación aplicada.

De conformidad y en el marco del eje "gestión del conocimiento-investigación aplicada" del plan, cabe resaltar los siguientes objetivos específicos: 1) ampliar, masificar y promover el uso de tecnologías limpias para la pequeña minería; 2) apoyar proyectos de investigación que generen nuevas técnicas para la recuperación de oro sin uso de mercurio, y 3) documentar experiencias exitosas en transferencia de tecnología que permitan la eliminación del uso del mercurio de los procesos de beneficio de oro, pues estos se enfocan en la promoción de nuevas alternativas

para la producción más limpia de este metal precioso. De igual forma, en el marco del eje "educación y comunicación", se busca que exista una concertación con las comunidades para producir el cambio partiendo de procesos de comprensión profunda relacionadas con las temáticas técnicas y, para cumplir con ello, se destaca el siguiente objetivo específico, expresado en el Plan Estratégico: 1) generar guías técnicas para la comunidad minera de cada región, con el fin de implementar el uso de tecnologías eficientes en el proceso de beneficio de oro sin utilizar mercurio.

Dado lo anterior, los ejes del Plan Estratégico mencionados permiten formular y ejecutar proyectos que puedan aportar nueva información valiosa y necesaria para el entendimiento geometalúrgico y la optimización de los procesos de beneficio del oro, sin la utilización de mercurio; esto mediante la formulación e implementación de procesos verdes ecoeficientes, orientados hacia la mitigación del impacto ambiental y que conduzcan a la disminución de condiciones potencialmente riesgosas para la salud humana en el desarrollo de actividades mineras, en especial aquellas asociadas con el beneficio del oro en las zonas mineras existentes en el territorio nacional.

Producto del diagnóstico levantado en campo de las unidades de beneficio aurífero de pequeña escala que actualmente registra el Ministerio de Minas y Energía, se identificaron las principales falencias en materia de eliminación de uso de mercurio por parte de los mineros, dentro las cuales se encuentran: falta de conciencia con respecto a la problemática ambiental a consecuencia del uso de mercurio, toda vez que realizan la actividad con limitada asistencia técnica y con poca planificación, lo que no permite mantener índices de productividad y de sostenibilidad adecuados, y causando, de paso, entre otras cosas: deterioro ambiental, impactos negativos sobre los recursos naturales, riesgo directo para los operarios de las unidades productivas e indirectos para las comunidades y ecosistemas aledaños. Toda esta problemática mencionada significa poner en riesgo la salud de la población, pues todos los vertimientos cargados con sustancias

contaminantes, como el mercurio, son descargados a las corrientes hídricas que surten los acueductos regionales. Asimismo, se ha planteado el desconocimiento de alternativas de tecnologías más limpias para recuperación del metal sin el uso del mercurio.

Se menciona también el desconocimiento científico, en particular acerca de las condiciones geoquímicas de los depósitos auríferos; las características geológicas, mineralógicas y metalogénicas propias de cada una de las zonas y distritos auríferos en el país, incluyendo su asociación mineral, su paragénesis y la reactividad de los diferentes minerales asociados al proceso de beneficio. Por lo anterior, la falta de información impide generar una metodología de beneficio más eficiente adecuada, y que actualmente puede generar menores ingresos a los mineros y causar un mayor impacto ambiental.

En este contexto, se suscribió entre el SGC y el Ministerio de Minas y Energía el Convenio Interadministrativo GGC n.º 311 del 2017, que tiene por objeto

En el marco del Plan Estratégico... se busca que exista una concertación con las comunidades para producir el cambio, partiendo de procesos de comprensión profunda, relacionadas con las temáticas geocientíficas e ingenieriles. Es por ello que se propuso generar guías técnicas para la comunidad minera de cada región, con el fin de implementar el uso de tecnologías eficientes en el proceso de beneficio de oro sin utilizar mercurio, partiendo del entendimiento geometalúrgico.



Fotografía 4: Serie de "cocos" para amalgamación. Fuente: Propia.



Fotografía 5: Valla Cooperativa Multiactiva Agrominera del Municipio de Iquira (Huila). Fuente: Propia.

"aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para la caracterización mineralógica y metalúrgica en distritos mineros de Colombia, con el fin de realizar guías para procesamiento de minerales y su control ambiental que permitan mejorar la recuperación del oro sin el uso de mercurio."

Dadas las anteriores razones, el Ministerio de Minas y Energía tiene la necesidad de fomentar alternativas tecnológicas de producción más limpia para los procesos de beneficio de oro que conduzcan a la eliminación del uso del mercurio en zonas mineras de producción activa; es por ello que se requiere el conocimiento especializado de entidades y grupos investigación reconocidos, por lo que el SGC, junto con algunas universidades, son las instituciones idóneas para dar cumplimiento a los objetivos del presente proyecto, cuya realización se propuso para generar conocimiento científico y tecnológico aplicado al mejoramiento productivo del beneficio de oro, con tecnologías de producción más limpia, sin el uso de mercurio en la pequeña minería de Colombia.

Los resultados de este proyecto quedarán consignados en un informe técnico y harán parte de la guía metodológica correspondiente. Esta información valiosa será compartida y socializada directamente con la comunidad minera para motivar su aplicación e implementación, lo que permitirá, además, que el conocimiento adquirido aporte al entendimiento particular de la metalogénesis, la optimización de los procesos de beneficio del oro y la mitigación del posible impacto ambiental asociado a las actividades mineras.

El Ministerio de Minas y Energía y el SGC suscribieron el convenio interadministrativo GGC n.º 311 del 2017 que tiene por objeto "aunar esfuerzos técnicos, administrativos y financieros para la caracterización mineralógica y metalúrgica en distritos mineros de Colombia, con el fin de realizar guías para procesamiento de minerales y su control ambiental, que permitan optimizar la recuperación del oro sin el uso de mercurio".

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar química, mineralógica y metalúrgicamente la zona minera de Íquira (Huila), con el fin de generar conocimiento geometalúrgico que permita la recuperación de oro sin el uso de mercurio, para el mejoramiento productivo del beneficio de oro en la pequeña minería en Colombia.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el reconocimiento geológico de la zona minera de Íquira (Huila) haciendo énfasis en zonas y estructuras mineralizadas y de extracción activa, que incluya toma de información de dichas estructuras, medición de datos estructurales y toma de muestras de roca.
2. Realizar la caracterización química y mineralógica de la mena para identificar su composición, asociaciones minerales, texturas, tamaños de grano, metalogénesis y ocurrencia de oro en la veta para establecer un adecuado beneficio del mineral aurífero.
3. Llevar a cabo pruebas metalúrgicas para definir la efectividad de los procesos actuales de beneficio y, junto con toda la información de caracterización del depósito, proponer una ruta metalúrgica adecuada para el procesamiento y la recuperación del oro.
4. Realizar ensayos ambientales que permitan identificar los riesgos asociados a la toxicidad de relaves y plantear metodologías que permitan el control y la prevención de impactos negativos al medio ambiente.
5. Elaborar la guía metodológica para el mejoramiento productivo, económico y ambiental del beneficio del oro sin el uso del mercurio para la zona minera de Íquira.
6. Definir la viabilidad financiera y económica de la implementación de la propuesta de uso de tecnologías limpias para la sustitución del mercurio en el proceso de beneficio de oro en la zona minera de Íquira.

1.4. ALCANCE

La guía metodológica propone procesos de producción más limpia, sin uso de mercurio, a través de alternativas tecnológicas que permiten un mejor aprovechamiento del mineral, así como una mayor eficiencia y productividad en las operaciones de beneficio. Lo anterior, fundamentado en la profundización del conocimiento geológico, metalogenético, mineralógico, metalúrgico y físico-químico de los depósitos minerales, los cuales son aprovechados por las unidades de beneficio de la zona minera de Íquira (Huila), y la aplicación de este conocimiento en los procesos de beneficio del oro y la disminución del impacto al medio ambiente. No obstante, se tendrá en cuenta los procesos metalúrgicos y las operaciones unitarias utilizadas actualmente por los mineros de la región, para finalmente proponer una ruta metalúrgica que permita un mejoramiento de los procesos productivos sin el uso del mercurio.

La guía comprende ocho capítulos: 1) "Marco de referencia"; 2) "Metodología de trabajo"; 3) "Características de la zona de estudio"; 4) "Aspectos geológicos"; 5) "Aspectos metalúrgicos"; 6) "Aspectos químico-ambientales"; 7) "Ruta metalúrgica propuesta para la zona minera", y 8) "Estudio económico y financiero".

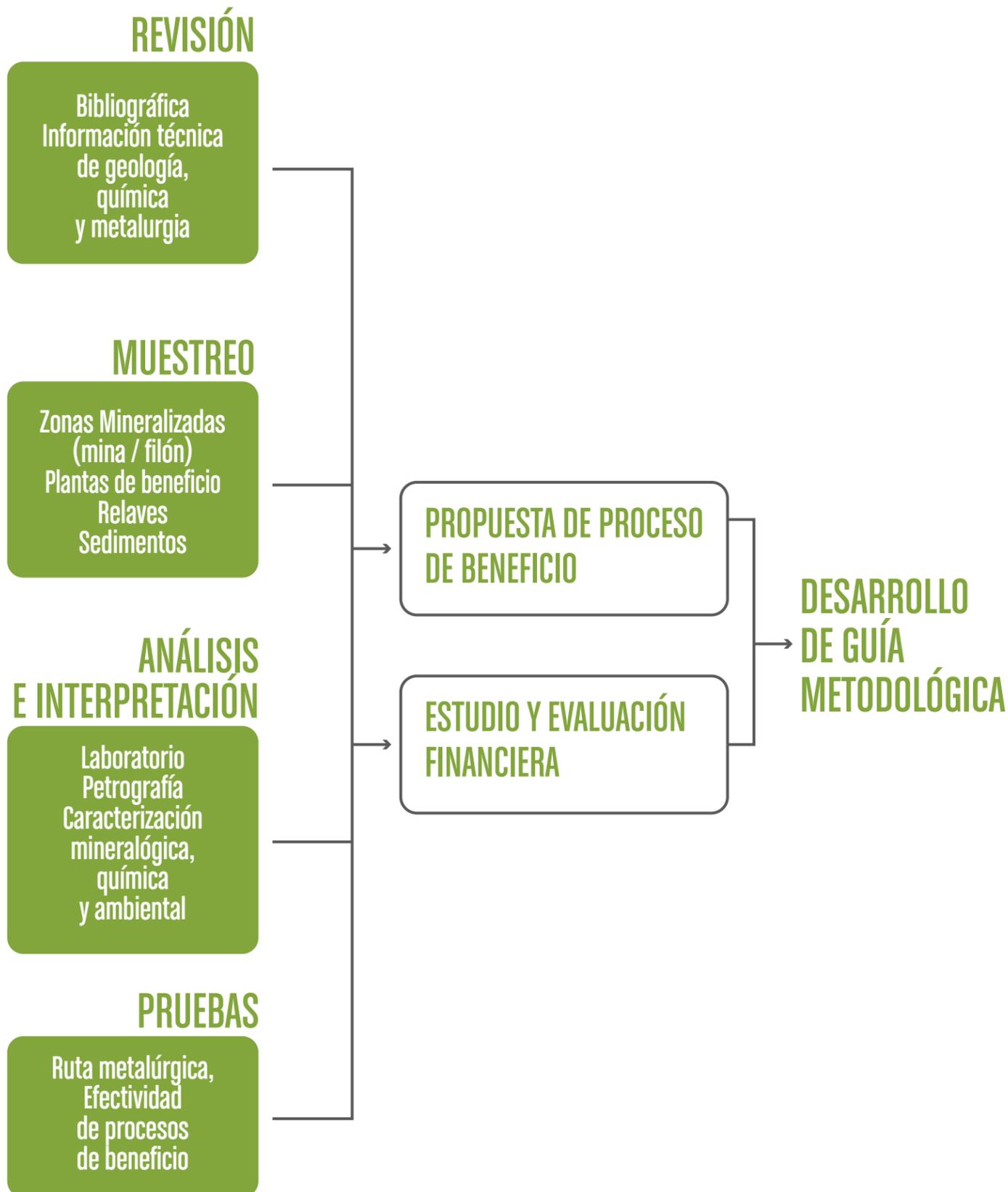
Muestreo en mina de la zona de Íquira (Huila)
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO



2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Figura 2.1: Diagrama metodología de trabajo.
Fuente: Propia.



2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El primer paso dentro de la metodología de trabajo es seleccionar la zona minera a estudiar, luego se realiza la revisión de la documentación minera existente, de acuerdo con los diferentes distritos mineros definidos en Colombia; posteriormente, se revisa la información geológico-minera de la zona de estudio, lo anterior con el fin de adquirir bases de conocimiento para realizar el trabajo de campo y el respectivo muestreo.

2.2. MUESTREO

Una vez se realizaron las diligencias institucionales correspondientes se llevaron a cabo varias jornadas de campo para adelantar el trabajo de reconocimientos geológico de la zona, revisión de los procesos de beneficio de oro y la toma de muestras. En terreno se realizó la toma de cuatro tipos de muestras:

- Muestras de zonas mineralizadas: muestras de roca en vetas y en zonas de respaldos.
- Muestras en plantas de beneficios: material de cabeza y material de salidas de las diferentes operaciones unitarias practicadas en el beneficio.
- Muestras de relaves: rechazos o colas provenientes de los diferentes procesos.
- Muestras en sedimentos y quebradas: para identificar los posibles elementos que están pasando al medio ambiente luego de la finalización del proceso de beneficio.

2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

Con base en las observaciones hechas en campo, se realizó una definición de los análisis, pruebas y ensayos a practicar, y se procedió a preparar las muestras para iniciar con los análisis de petrografía, caracterización mineralógica y composición química. Este proceso condujo a realizar diagnósticos mineralógico y metalúrgico, los cuales son el pilar para desarrollar la propuesta de ruta metalúrgica eficiente y ambientalmente sostenible para aplicar en la zona.

Los procedimientos analíticos aplicados fueron:

PETROGRAFÍA:

- Análisis de la roca: se seleccionó la muestra y se extrajo una fracción a la que se le realizó el pulido, de 60 a 40 micrones (secciones delgadas pulidas) para realizar análisis con microscopio (petrográfico y de metalografía).
- Análisis mineralógico general: se seleccionó la muestra, se pulverizó a un d80 de 1.4 mm para realizar el pulido del material particulado.
- Análisis mineralógico específico para oro: la muestra del análisis mineralógico general se pulverizó a un d80 de 300 micrones y se concentró para sustraer el oro y hacerlo visible al análisis petrográfico. El material se concentró y se montó sobre vidrio para realizar desbaste a 40-50 micrones, y posteriormente este concentrado se pulió y se brilló para análisis petrográfico y metalográfico.

ANÁLISIS QUÍMICOS ELEMENTALES:

- Ensayo al fuego: análisis de oro y plata por fundición de 30 gramos de muestra.
- Análisis de hierro, cobre, mercurio, plomo y zinc por espectrofotometría de absorción atómica.
- Análisis de azufre por el método gravimétrico.
- Análisis cualitativo de carbonato de calcio.
- Análisis de elementos por fluorescencia de rayos X.

ANÁLISIS AMBIENTALES:

- Análisis de arsénico, cadmio, cromo, plata, mercurio y plomo por el método de diagnóstico de toxicidad de depósitos.
- Análisis de cianuro total por descomposición química de complejos y lectura con electrodo de ion selectivo para ion cianuro.

2.4. PRUEBAS

La interpretación de estos análisis dio lugar a la realización de las pruebas metalúrgicas correspondientes, las comprobaciones y confirmaciones para crear la propuesta de ruta metalúrgica óptima que se aplicaría.

PROPUESTA RUTA METALÚRGICA

Se definió una ruta metalúrgica adecuada para el proceso de beneficio de oro optimizando todos los parámetros tecnológicos, que resultara beneficiosa en términos económicos para los mineros y que implicara la eliminación del mercurio en el proceso productivo.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

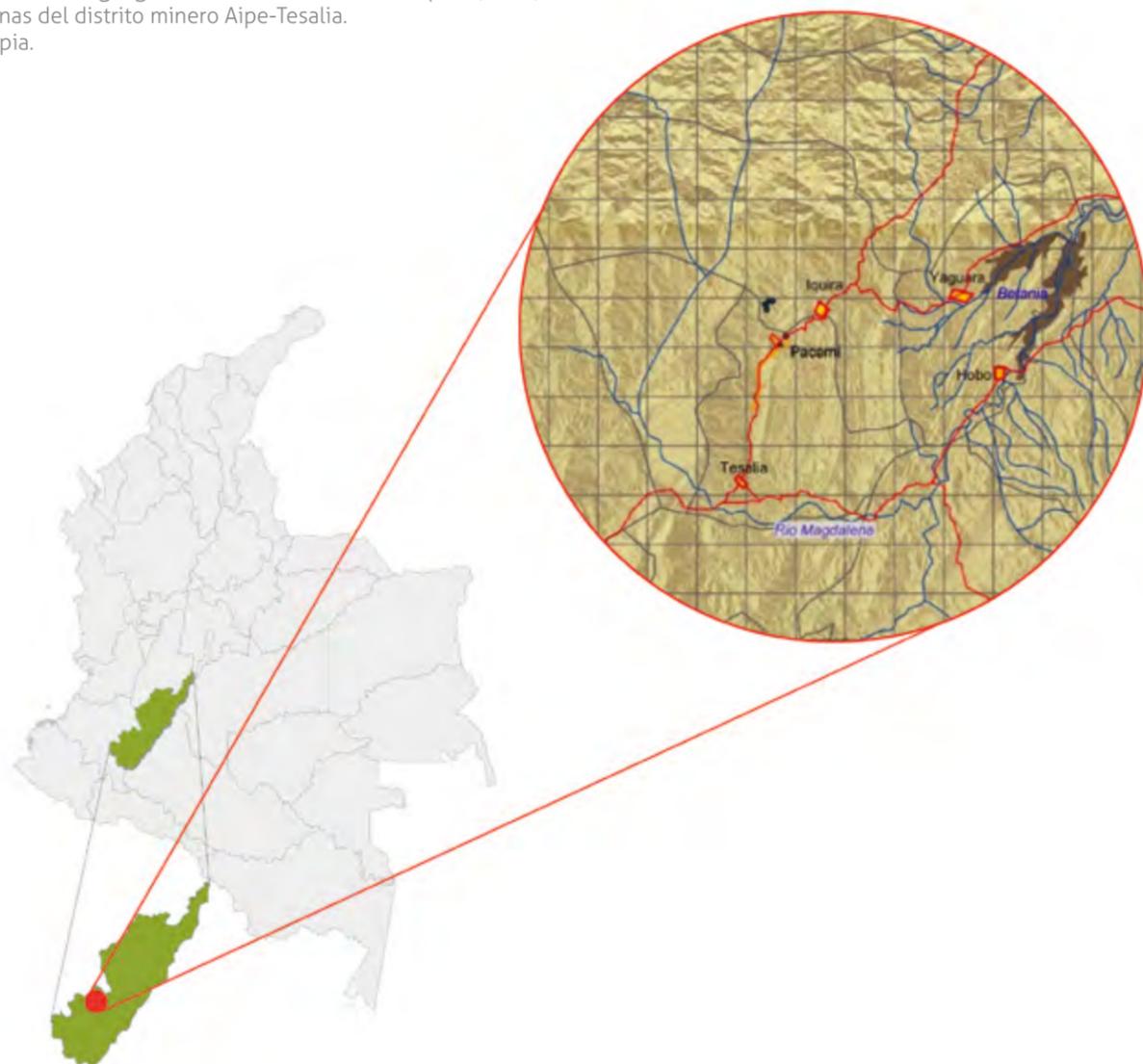
Conocer las generalidades de la zona de estudio permite tener una referencia sobre la localización geográfica y efectuar un acercamiento a los aspectos económicos y sociales que se desarrollan en los municipios de estudio.

3.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en las estribaciones de la Cordillera Central, en la vertiente occidental del valle alto del río Magdalena, en la división política corresponde al departamento del Huila, y se encuentra ubicado entre los municipios de Íquira y Tesalia. Dichos municipios están localizados en la zona montañosa y de piedemonte de la región occidental del departamento del Huila, en el flanco oriental de la Cordillera Central, y sus territorios forman parte de la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Nevado del Huila.

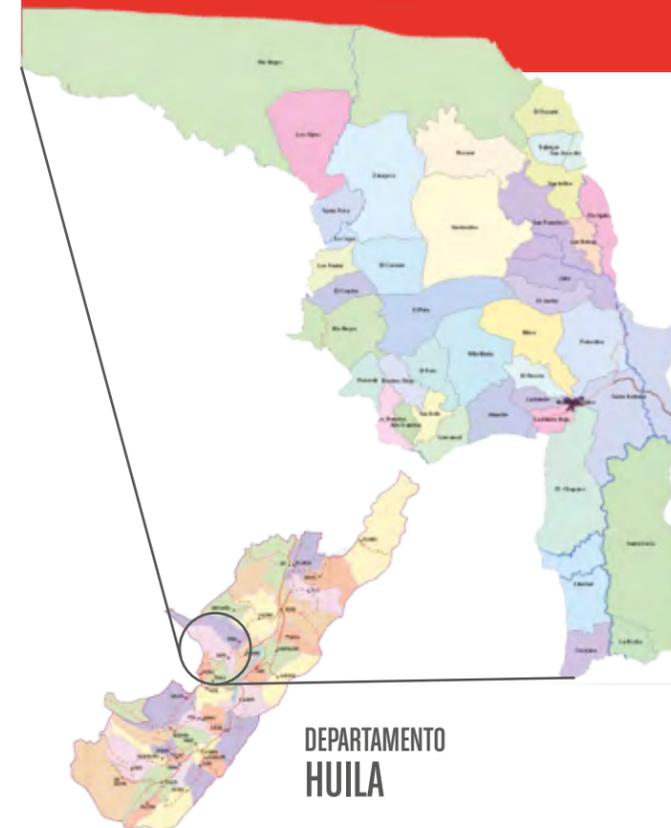
Topográficamente se presentan zonas de montaña, junto con colinas, pequeños cañones, mesetas y valles que pueden ser estrechos, o amplios como la zona correspondiente al valle del río Magdalena. En estos municipios se presenta clima cálido hasta clima templado (municipio de Íquira). Desde el punto de vista hidrográfico, se destaca la subcuenca del río Yaguará, cuyos principales afluentes, que recogen las aguas de escorrentía en la zona de estudio, son los ríos Íquira, Pacarní y Callejón. El régimen de lluvias es de carácter bimodal: se presentan lluvias de marzo hasta junio y de octubre hasta noviembre, y el tiempo seco se presenta en los meses de enero y febrero, y desde agosto hasta septiembre.

Figura 3.1: Ubicación geográfica de la zona minera de Íquira (Huila) y demás zonas del distrito minero Aipe-Tesalia.
Fuente: Propia.



3.1.1. MUNICIPIO DE ÍQUIRA

LOCALIZACIÓN	Latitud norte: 2°39' Longitud oeste: 75°38'
EXTENSIÓN TOTAL	532 km²
ALTITUD ZONA URBANA	1400 m.s.n.m
TEMPERATURA PROMEDIO	22 °C
LÍMITES	Oriente: con los municipios de Teruel y Yaguará Norte: con el municipio de Teruel. Occidente: con el municipio de Nátaga y el departamento del Cauca Sur: con el municipio de Tesalia.



Economía Sector Primario. Gran parte del sistema económico local gira en torno a la producción agropecuaria, con predominio del monocultivo de café. Existe una ganadería extensiva; también plantaciones de cacao, yuca, plátano, maíz; cultivos semestrales como frijol, arveja y hortalizas, y frutales como granadilla, mora, lulo y tomate de árbol. Economía sector secundario: se limita al procesamiento artesanal de productos lácteos y otros alimentos tradicionales. Economía sector terciario: corresponde a las actividades comerciales de servicios que se adelantan en el ámbito local; los más importantes son los de carácter domiciliario como acueducto, teléfono, energía eléctrica y alcantarillado, tanto en la zona rural como en los centros urbanos.

Ecología. En Íquira se han declarado zonas de reserva para la conservación y la protección de los recursos naturales, dos ecosistemas estratégicos de importancia regional por su alta producción hídrica y diversidad biológica de flora y fauna silvestre. En primer lugar, la zona amortiguadora Parque Nacional Natural Nevado del Huila y que se localiza en la periferia del Parque Nacional Natural Nevado del Huila; este ecosistema se ubica al norte del territorio municipal, en zona limítrofe con el municipio de Teruel y el departamento del Cauca. Se destaca igualmente la Reserva Forestal Municipal Alto Banderas, que es de gran valor estratégico por ser una estrella hidrográfica donde nacen fuentes tributarias de la cuenca del río Magdalena, a través de los ríos Íquira, Río Negro, Narváez y Callejón; su extensión es de 4511 ha. Por la fragilidad de estos ecosistemas y su alta vulnerabilidad a las actividades humanas, estas zonas han quedado sometidas a un régimen especial de uso.

Hidrografía. Ríos Íquira, Yaguaracito, El Pato, San Francisco y Callejón.

Habitantes según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). en el 2013 Íquira era un municipio conformado por 12.299 habitantes: el 19,30 % (2375) de la población habita en la zona urbana y el 80,70 % (9924) en el resto del territorio municipal.

La pequeña minería de Íquira representa un polo de desarrollo económico y social importante para la comunidad local. En el 2015, en el municipio de Íquira, se exportaron aproximadamente 6788 g, con lo cual se beneficiaron cerca de 450 familias.

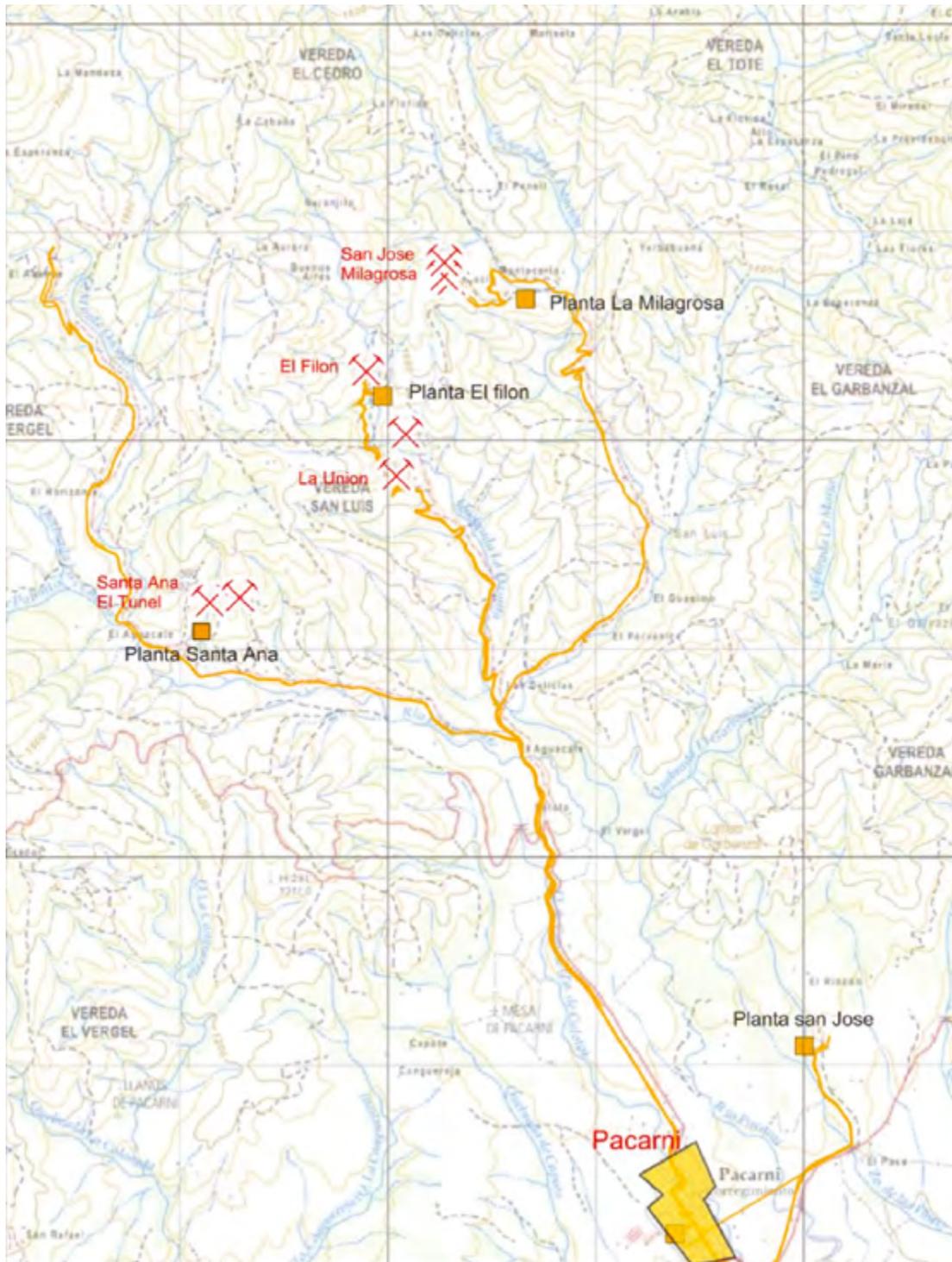


Figura 3.2: Mapa de localización de minas y plantas en modelo digital de terreno Pacarni-Íquira (Huila). Fuente: Propia.

3.1.3. VIAS DE ACCESO

La principal vía de acceso es la carretera Neiva-Tesalia. En el corregimiento de Pacarni se toma un carretable de 5 km hacia el noroccidente en las estribaciones de la Cordillera Central, donde se concentran algunas explotaciones mineras dentro de las que sobresalen las minas La Milagrosa, San José, El Filón, La Unión, El Túnel y Santa Ana.

Vista en microscopio ocurrencia de oro.
Oro asociado a calcopirita (Cp), incluido en pirita (Py)

● ————— Cp (*calcopirita*)

Au (*oro*) ————— ●

Py (*pirita*) ————— ●

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La composición mineralógica de los depósitos determina el comportamiento de las menas en los procesos de beneficio. Por este motivo, es de gran importancia conocer desde su origen los procesos geológicos involucrados en su formación, así como de las condiciones finales del depósito mineral.

Teniendo en cuenta el origen y los procesos mineralizantes se puede establecer el tipo de depósito, particularmente aquellos de origen hidrotermal, característicos de la zona de estudio. Este capítulo busca describir características mineralógicas obtenidas a partir de análisis petrográficos, de metalografía y de fluorescencia de rayos X, que brindan información importante acerca de los procesos que condujeron a la formación de los minerales encontrados y que a su vez facilitan la selección apropiada de procesos geometalúrgicos.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

4.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS: GEOLOGÍA Y YACIMIENTOS MINERALES

La geología es la ciencia que estudia el origen, la estructura y la composición del planeta Tierra, así como la evolución y los procesos que la han modificado desde su origen hasta el tiempo actual. El interior de la Tierra se ha diferenciado en tres capas concéntricas principales, según características establecidas especialmente por métodos geofísicos:

Corteza: es la capa más externa de la Tierra y en esta se encuentran concentrados los yacimientos minerales; tiene una profundidad de 20 a 70 km bajo los continentes (corteza continental), y de 10 km bajo los océanos (corteza oceánica). La corteza oceánica es más densa que la corteza continental.

Manto: tiene un espesor de 70 a 2900 km de profundidad, es la capa intermedia.

Núcleo: es la parte interna de la Tierra y tiene una profundidad de 2900 a 6000 km; se cree que la parte interna está formada por minerales de hierro.

La corteza se compone de placas o fragmentos móviles individuales, más o menos rígidos, que se desplazan e interactúan entre ellos y se conocen como placas tectónicas. En la dinámica terrestre se crea y se destruye corteza continuamente en los límites divergentes de las placas tectónicas. En los límites convergentes de las placas tectónicas, donde estas se mueven hacia un punto común, a veces una placa se hunde (subduce) debajo de otra; estas zonas que se conocen como zonas de subducción son responsables de formación de grandes cadenas montañosas, como los Andes, de la generación de eventos sísmicos, y del emplazamiento y acumulación de yacimientos minerales (pórfidos y yacimientos epitermales de metales preciosos, entre otros). El origen de los depósitos minerales metálicos está estrechamente relacionado con ambientes asociados a la interacción de placas tectónicas (fragmentos de corteza terrestre).

4.1.1. GENERALIDADES DE LOS YACIMIENTOS AURÍFEROS

Un yacimiento mineral es la acumulación, en superficie o cerca de ella, de compuestos metálicos y no metálicos, los cuales debido a su extensión, disposición o enriquecimiento pueden recuperarse con beneficio económico. El oro se transporta, inicialmente, desde el interior hacia la corteza terrestre, mediante procesos magmáticos. Los fluidos involucrados en este proceso reaccionan con las rocas circundantes y permiten la movilización del oro a través de fracturas y poros, y los cambios de presión, temperatura y reactividad geoquímica dan lugar a su precipitación. En los yacimientos minerales el oro se asocia principalmente con elementos como plata (Ag), arsénico (As), antimonio (Sb), mercurio (Hg), selenio (Se), telurio (Te), y en algunos depósitos se presenta asociado con hierro (Fe), zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu). El tamaño y tipo del depósito aurífero depende de los factores ya mencionados, así como de la magnitud del evento y el tiempo de ocurrencia.

A continuación se mencionan y describen las generalidades de los principales yacimientos auríferos que han sido descritos a nivel mundial, y que han sido reconocidos en territorio colombiano, o con potencial en el país, dada la diversidad de ambientes de formación de yacimientos que se presentan.

Depósitos epitermales: en este tipo de depósitos la mineralización de metales preciosos y de sulfuros asociados se produce a partir de fluidos hidrotermales calientes, cargados de metales que se precipitan en las fracturas y fallas de las rocas encajantes (vetiformes), o en forma de diseminaciones formadas dentro de la roca caja, cuando se presentan las condiciones adecuadas de porosidad y permeabilidad. Los depósitos epitermales se forman a profundidades de entre 1 y 2 km desde la superficie y genéticamente se encuentran relacionados con ambientes de vulcanismo activo.

La mineralización de yacimientos epitermales de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos: los denominados depósitos epitermales de baja sulfuración, que tienen un pH cercano a neutro y los fluidos de alta sulfuración, que son más oxidados y ácidos. Los términos alta y baja sulfuración fueron introducidos por Hedenquist (1987) y se refieren al estado de oxidación del azufre; en los de baja sulfuración se presenta como S-2 en forma de H₂S (reducido),

mientras que en los de alta sulfuración el azufre se presenta como S+4 en forma de SO₂ (oxidado). Se pueden destacar a nivel mundial como depósitos epitermales de alta sulfuración Yanacocha (Perú) y El Indio (Chile), y como depósitos de baja sulfuración Guanajuato (México). En Colombia se menciona que el depósito de Angostura, en la provincia minera de Vetas-California corresponde a un depósito epitermal de alta sulfuración, y en general los depósitos epitermales relacionados con los plutones del Batolito de Ibagué-Mocoa son considerados como de baja sulfuración.

Depósitos tipo pórfido (pórfidos auríferos y cobre-oro): estos depósitos se originan por el emplazamiento de cuerpos intrusivos subvolcánicos. Son yacimientos de baja ley (0,5-2 g/t) y alto tonelaje, en los que ocurren eventos mineralizantes asociados a alteración hidrotermal (alteración potásica, fílica y argílica). Con respecto a la mineralogía, en este tipo de depósitos se encuentra oro libre, con partículas de algunos micrones, o como inclusiones en calcopirita, en bornita o en granos de pirita, que se presentan en estructuras de stockwork (estovercas o enrejados); en venillas o en diseminaciones. A nivel mundial pueden citarse como ejemplo el depósito de Bajo la Alumbraera (Argentina); La Coipa, Cerro Casale y Marte/Lobo (norte de Chile), y Panguna (Papúa, Nueva Guinea). En Colombia se pueden citar el depósito de la Colosa, en Cajamarca (Tolima, Cordillera Central); Murindó (Antioquia), y Acandí (Chocó).

Depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos-polimetálicos: este tipo de depósitos puede estar relacionado con el vulcanismo submarino que ocurre en las dorsales meso-oceánicas en las cuales, por procesos hidrotermales, las sucesiones estratiformes o lenticulares vulcano-sedimentarias que se acumulan se pueden enriquecer en metales como cobre, plomo y zinc, además del oro como subproducto. En Colombia, al occidente de la falla de Romeral, en la Cordillera Occidental, se presentan ambientes de formación adecuados para la acumulación de este tipo de depósitos; actualmente se reconoce la mina del Roble (Chocó) como un depósito de sulfuros masivos, pero igualmente se destacan los prospectos del Dovio (Valle del Cauca) y Anzá (Antioquia).

Depósitos de placer (paleoplaceres y placeres auríferos recientes): se definen como depósitos minerales, formados en superficie y que se acumulan por concentración mecánica, bien sea por corrientes aluviales, por corrientes marinas, en zonas lacustres o por procesos coluviales, de partículas minerales pesadas (densas) que son inertes a procesos oxidantes minerales, y que proceden de fragmentos líticos meteorizados. Los placeres auríferos recientes son muy importantes en la producción de oro en Colombia, y se destacan los distritos mineros del Bagre (Antioquia), Bajo Cauca-Nechí; las cuencas de los ríos San Juan y Atrato (Chocó); río Naya (Valle del Cauca), y Ataco (Tolima), entre otros. Los paleoplaceres son depósitos de placer auríferos antiguos que fueron depositados en ambientes sedimentarios fluviales a deltaicos, bajo condiciones reductoras (atmósfera pobre en oxígeno). En Colombia, las áreas más favorables para la ocurrencia de paleoplaceres corresponden a depósitos de metaconglomerados con oro en la Serranía de Naquén y Caranacoa (Guainía) y Taraira (Vaupés).

Otros tipos de depósito: de acuerdo con la importancia para Colombia, se puede destacar potencialidad en depósitos tipo skarn auríferos, en los cuales se presenta emplazamiento de plutones o de cuerpos intrusivos en rocas sedimentarias carbonatadas, produciéndose metamorfismo de contacto, metasomatismo y acumulación de depósitos de metales (sulfuros de cobre, plomo, zinc; magnetita, molibdenita y oro como subproducto). En Colombia se destaca como un área potencial Mina Vieja y El Sapo (Tolima), asociada con las calizas de la Formación Payandé.

Figura 4.1: Depósitos auríferos y su relación con las placas tectónicas.
Fuente: Modificado de Lydon (2007).

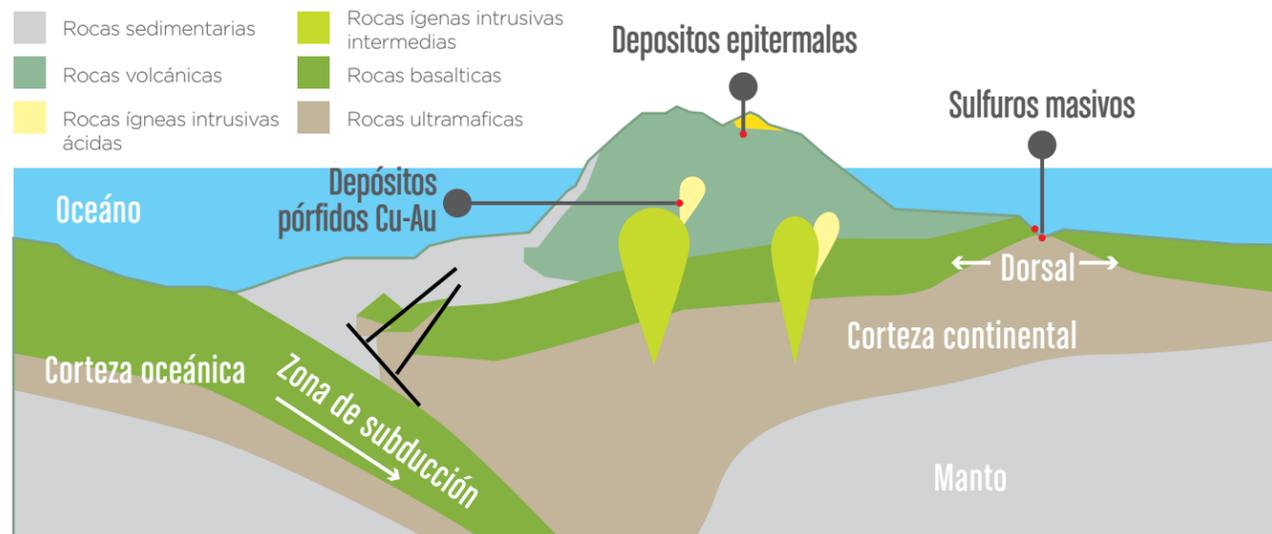
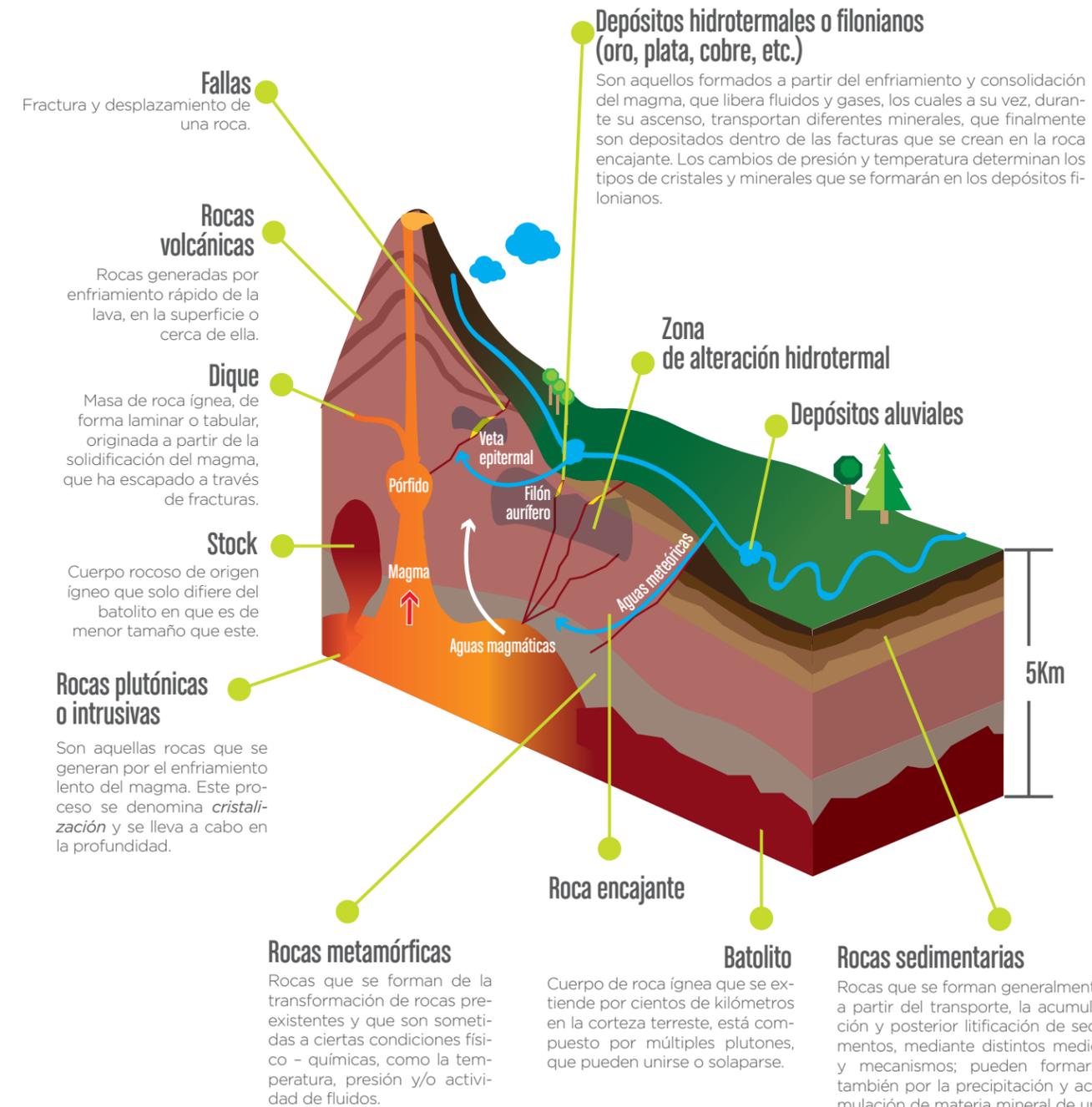


Figura 4.2: Perfil generalizado de la corteza terrestre indicando los principales elementos que intervienen en la formación de depósitos hidrotermales filonianos.
Fuente: Propia.



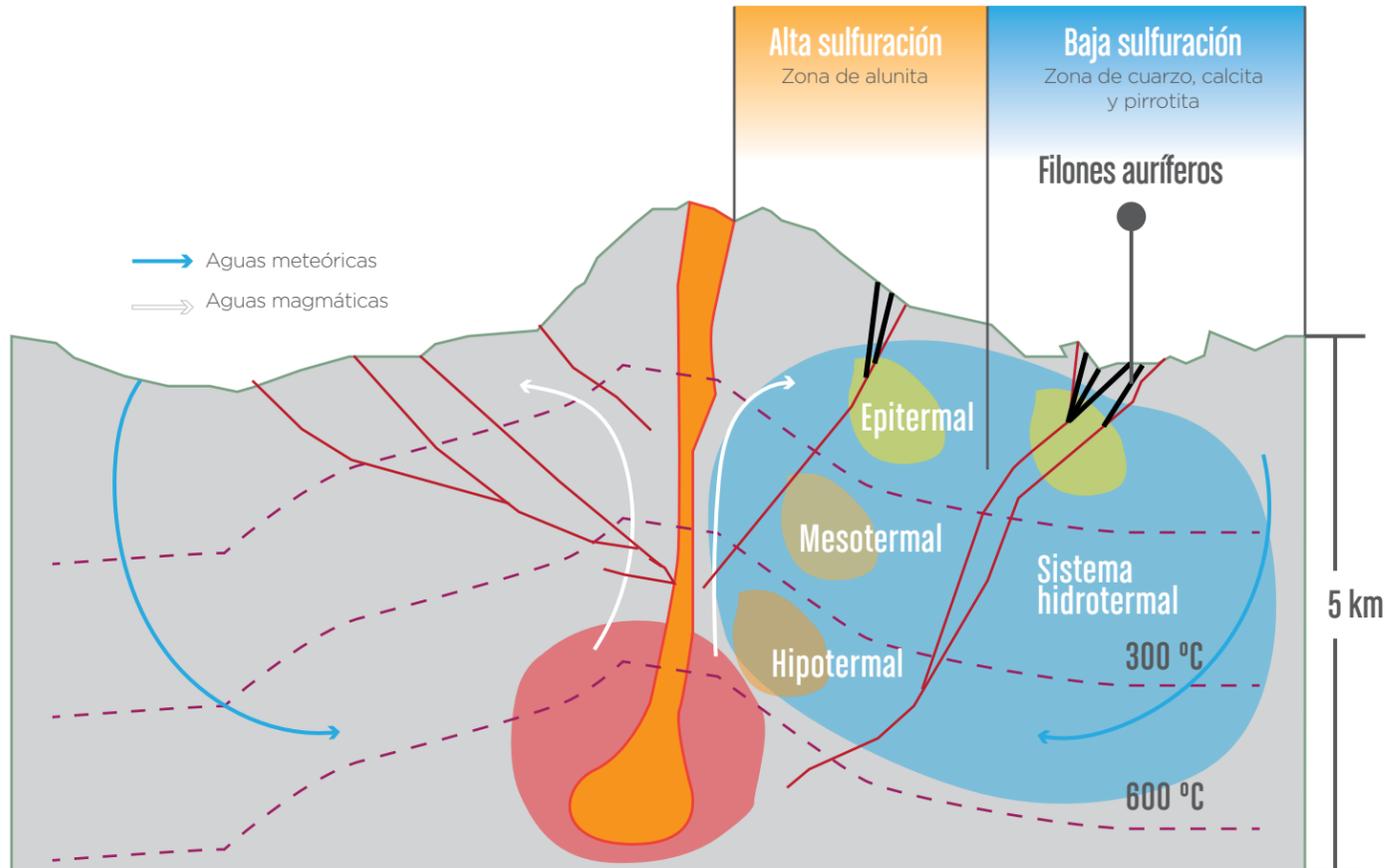
Los sistemas hidrotermales dan lugar a variados depósitos auríferos los cuales han sido clasificados según la profundidad y las condiciones de presión y temperatura como hipotermales —los más profundos—, mesotermales —los intermedios— y epitermales —los más someros— (Lindgren, 1933).

Los depósitos epitermales se han diferenciado según la afinidad geoquímica de los fluidos que intervienen en la mineralización y se distinguen dos tipos principales: aquellos en los que el azufre se encuentra relativamente más oxidado (SO₂), conocidos como de alta sulfuración, y aquellos en los cuales el azufre se encuentra más reducido (HS, H₂S), conocidos como de baja sulfuración (Hedenquist, 1987). Cada uno de ellos se encuentra en una posición relativa con respecto a la fuente termal, y tiene composición mineral y características estructurales propias.

BAJA SULFIDACIÓN pH - neutro, meteórico	ALTA SULFIDACIÓN pH - ácido, magmático
Vetas espacio - abierto principalmente.	Mineral diseminado dominante.
<i>Stockwork</i> son comunes.	Mena de reemplazamiento común.
Menor diseminación de minerales.	Vetas subordinadas, localmente dominantes.
Menor reemplazamiento de minerales.	<i>Stockwork</i> menor.

Fuente: White and Hedenquist (1995).

Figura 4.3: Perfil general de los depósitos auríferos de tipo hidrotermal (aproximación al ambiente de depósito aurífero en Íquira). Fuente: Propia.



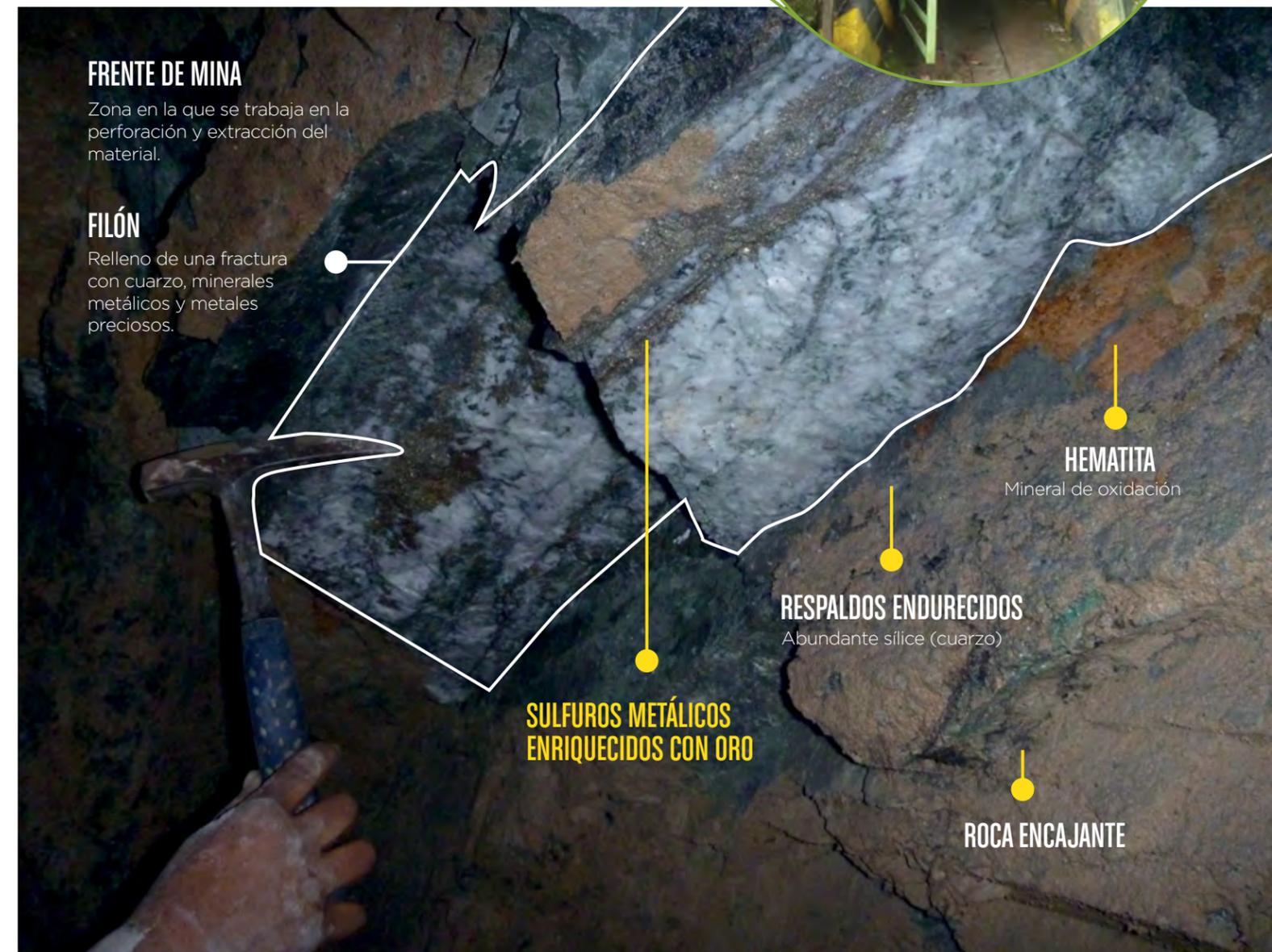
4.1.2. IDENTIFICACIÓN DE MINERALES EN EL FRENTE DE MINA



BOCAMINA

La entrada a una mina, generalmente un túnel horizontal.

Figura 4.4: Diagrama frente de mina Íquira (Huila). Fuente: Propia.



FRENTE DE MINA

Zona en la que se trabaja en la perforación y extracción del material.

FILÓN

Relleno de una fractura con cuarzo, minerales metálicos y metales preciosos.

HEMATITA

Mineral de oxidación

RESPALDOS ENDURECIDOS

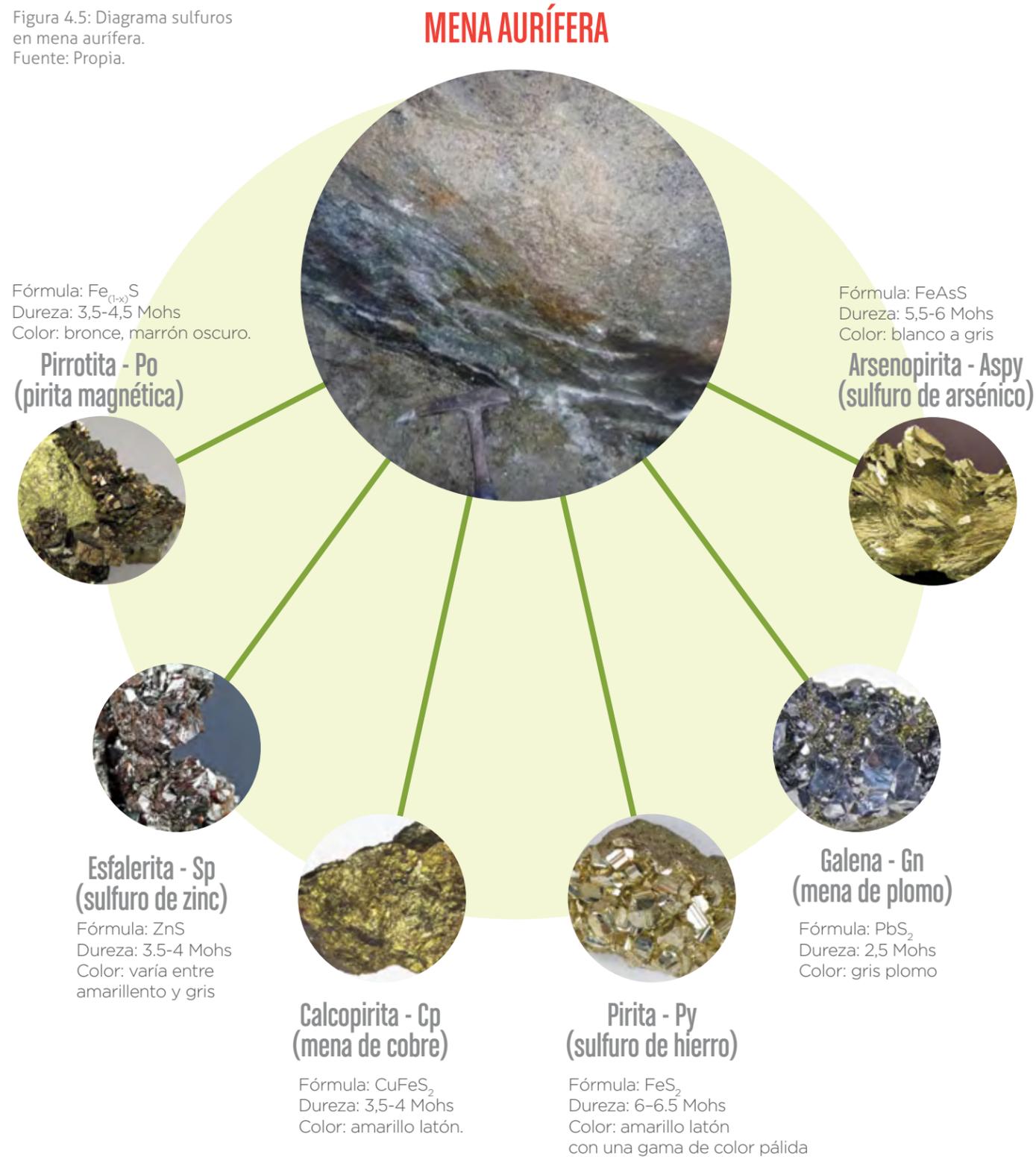
Abundante sílice (cuarzo)

SULFUROS METÁLICOS ENRIQUECIDOS CON ORO

ROCA ENCAJANTE

4.1.3. SULFUROS METÁLICOS ASOCIADOS A LA MENA

Figura 4.5: Diagrama sulfuros en mena aurífera.
Fuente: Propia.



4.1.4. TIPOS OCURRENCIA DE ORO

Figura 4.6: Tipos de ocurrencia de oro.
Fuente: Propia.

OCURRENCIA DE ORO EN LA MENA

indica la forma, el tamaño y la estructura como se presenta el oro en la mineralización.



Los tipos de ocurrencia de oro encontrados con mayor frecuencia en la zona minera de Íquira son el oro asociado a minerales y el oro incluido en fracturas.

4.2. GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA DE LA ZONA MINERA DE ÍQUIRA (HUILA)

4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

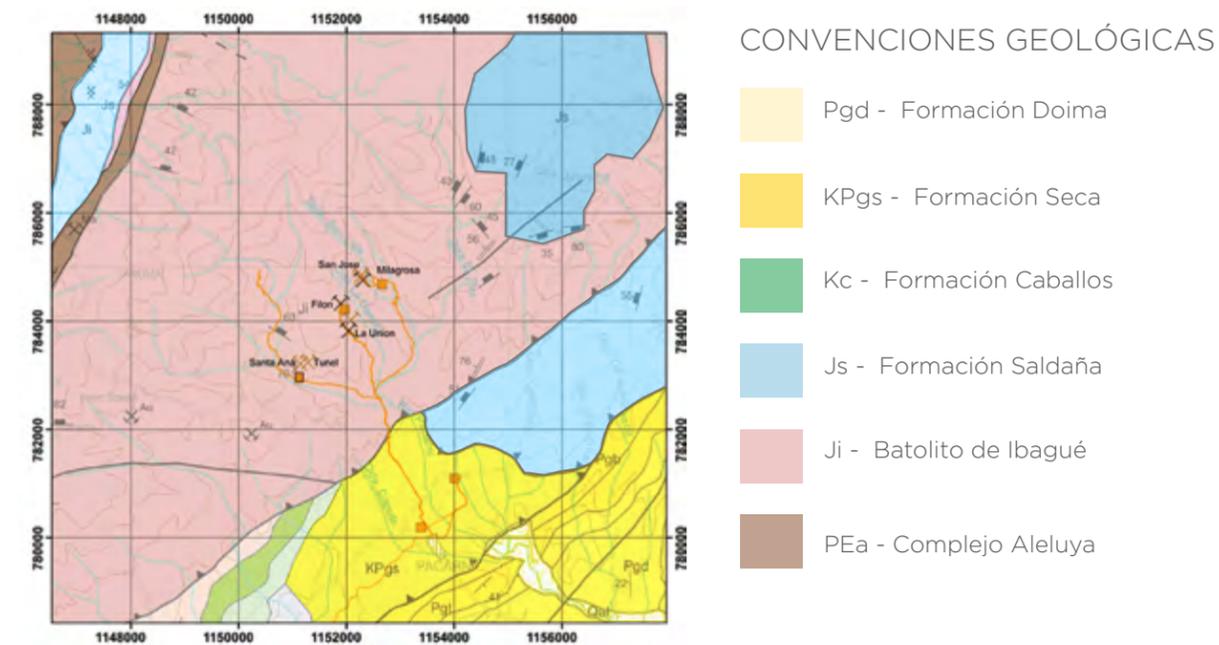
La zona mineralizada se encuentra en el flanco oriental de la Cordillera Central, que está constituida en su mayoría por rocas ígneas intrusivas y volcánicas del Triásico-Jurásico (Batolito de Ibagué y Formación Saldaña), y metamórficas del Precámbrico y del Paleozoico (complejo Aleluya y complejo Cajamarca). La mineralización se produjo, posiblemente, en un ambiente de arco magmático formado durante el Mesozoico.

En el área de estudio el basamento está constituido por rocas ígneas intrusivas del Batolito de Ibagué; se trata de rocas intrusivas de textura fanerítica, de grano medio a grueso, de composición félsica a intermedia, con predominio de granodioritas y tonalitas.

El principal rasgo tectónico del flanco oriental de la Cordillera Central es la falla de La Plata, perteneciente al sistema de fallas de Chusma, que agrupa varias fallas de cabalgamiento con dirección predominante Noreste e inclinadas al Noroeste; este sistema permite el cabalgamiento de rocas cristalinas del Cordillera Central sobre la secuencia sedimentaria que aflora en el valle del río Magdalena.

El Batolito de Ibagué es el cuerpo rocoso predominante del área; hacia el occidente intruye rocas metamórficas del complejo Aleluya, así como rocas vulcano-sedimentarias de la Formación Saldaña (Velandia et al., 1996 citados en Velandia et al., 2001), mientras que al Oriente el batolito se encuentra en contacto fallado a través de la falla de La Plata, con rocas sedimentarias de la Formación Caballos y la Formación Seca.

Figura 4.7: Mapa geológico del área Íquira (Huila). Fuente: modificado de Ingeominas (1999) plancha 344 Tesalia.



El estilo de mineralización y la dirección de las estructuras mineralizadas están condicionados, por un lado, al sistema de fallas inversas del flanco oriental de la Cordillera Central y también al hecho que se considere que los metales preciosos fueron depositados dentro de un ambiente de arco magmático .

4.2.2. GEOLOGÍA LOCAL Y MINERALOGÍA DE LA MENA

4.2.2.1. GEOLOGÍA LOCAL

La disposición estructural de las rocas está influenciada por dos estructuras regionales de importancia: por el Este la falla de La Plata, de naturaleza inversa, y por el Oeste con la falla de Los Frailes, predominantemente de rumbo dextral, entre las cuales se desarrollan sistemas de Riedel de bajo ángulo que pueden tener sentido sinextral, con desarrollo de fallas en dirección E-W y NW-SE. Relacionados con estas estructuras se encuentran depósitos auríferos formados en fracturas con dirección NE rellenas con cuarzo, sulfuros y oro.

Figura 4.8: Alteraciones geología local. Fuente: Propia.



4.2.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La disposición estructural de las rocas está influenciada por dos estructuras regionales de importancia: por el Este la falla de La Plata, de naturaleza inversa, y por el Oeste con la falla de Los Frailes, de composición predominantemente de rumbo dextral. Entre ellas se desarrollan sistemas de Riedel de bajo ángulo que pueden tener sentido sinextral, con desarrollo de fallas en dirección E-W y NW-SE. Relacionados con estas estructuras se encuentran depósitos auríferos formados en fracturas con dirección NE rellenas con cuarzo, sulfuros y oro.

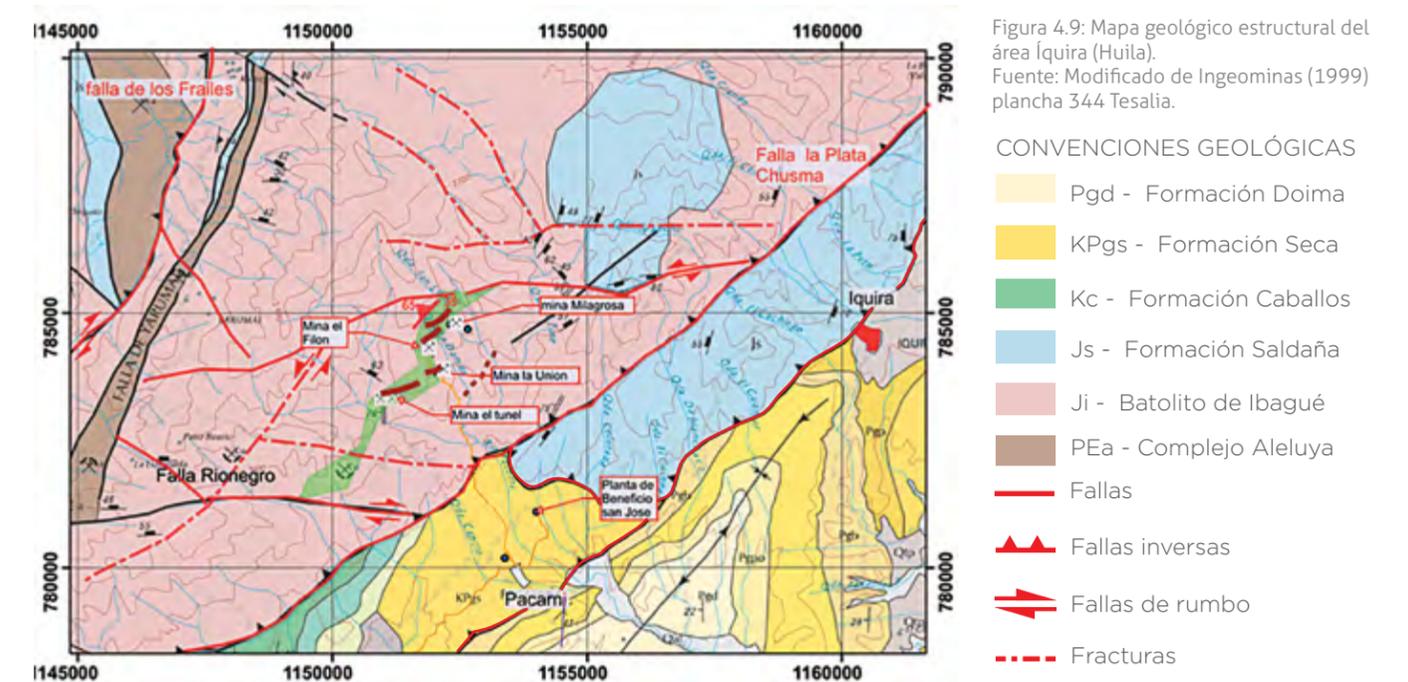


Figura 4.9: Mapa geológico estructural del área Íquira (Huila). Fuente: Modificado de Ingeominas (1999) plancha 344 Tesalia.

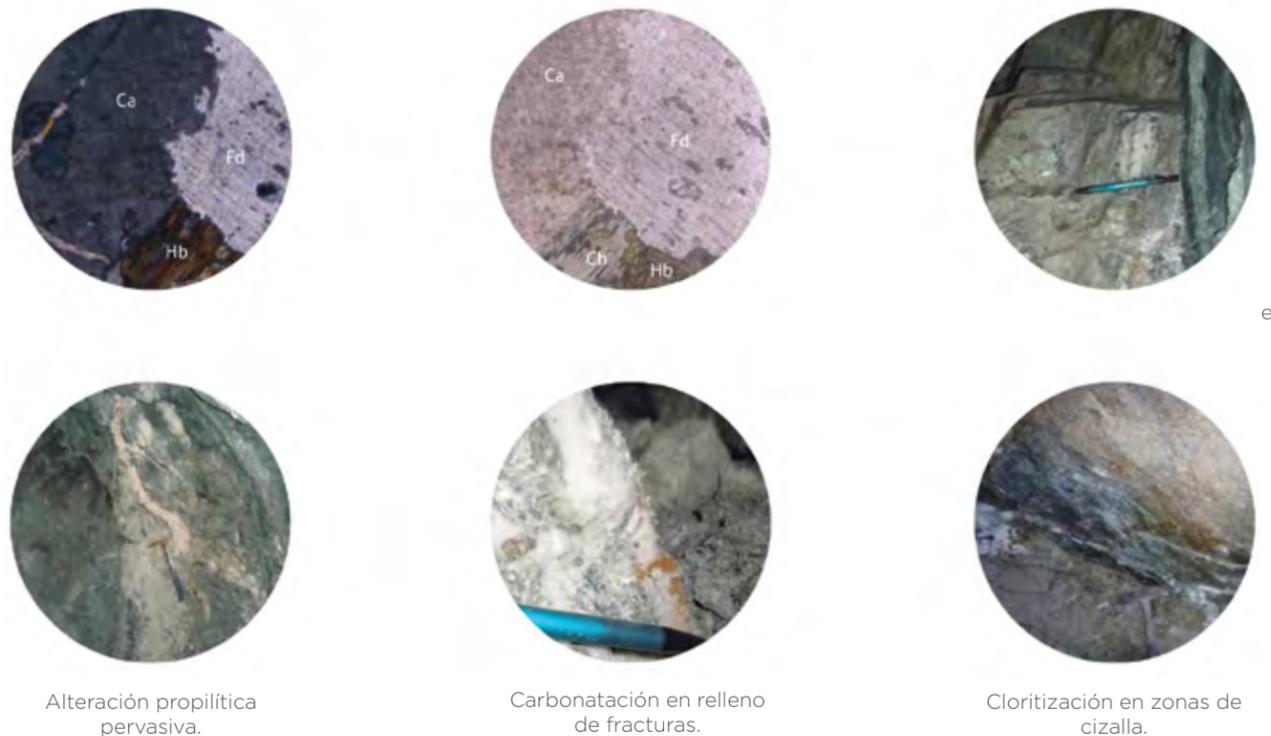
4.2.2.3. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

En la zona mineralizada la roca encajante presenta amplias franjas alternantes de alteración hidrotermal con presencia de carbonatos de calcio, clorita y epidota típicos de alteración propilítica. La propilitización de la roca ígnea es la alteración más representativa del área.

A lo largo de los filones, sobre la zona de cizalla, se presentan franjas con intensa silicificación en la roca encajante y se caracteriza por su particular dureza y fracturamiento. En zonas de fallamiento interno se presenta cloritización (rocas verdosas masivas y duras).

En algunas zonas con intenso cizallamiento en la roca encajante se presentan franjas de color claro, blanco grisáceo, compuestas por minerales de arcilla del grupo de las micas, conformando alteración filica de carácter local.

Figura 4.10: Alteración hidrotermal. Fuente: Propia.



Alteración propilítica pervasiva.

Carbonatación en relleno de fracturas.

Cloritización en zonas de cizalla.

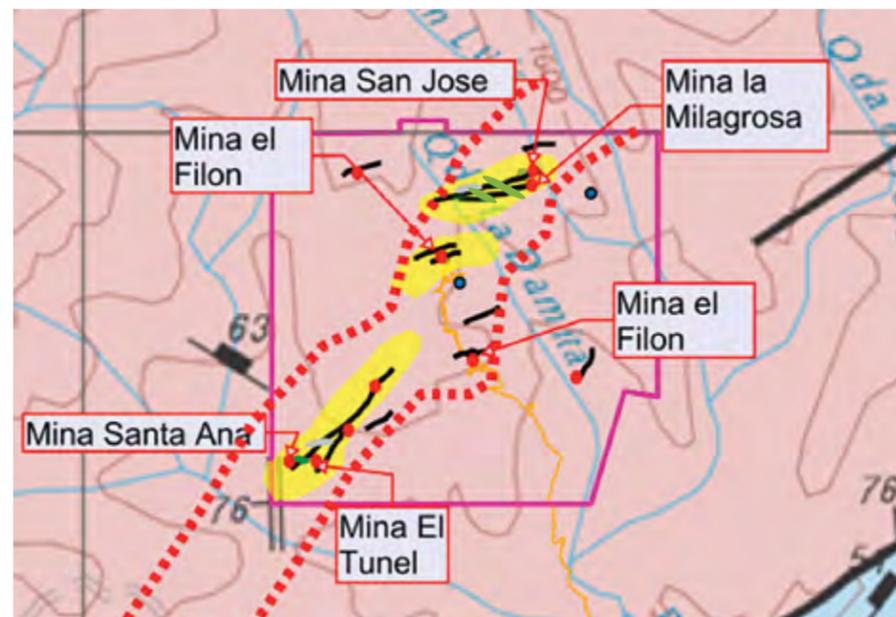


Figura 4.11: Alteración hidrotermal en zonas de cizalla. Fuente: Propia.

- Alteración propilítica
- Alteración filica
- Filones auríferos

4.2.2.4. METALOGÉNESIS Y MINERALIZACIÓN AURÍFERA

El oro está asociado principalmente a galena y calcopirita, y está incluido en la pirita y en fracturas formadas en los cristales de pirita. El tamaño de oro regularmente es inferior a 50 micrones.

La mineralización aurífera está relacionada con los procesos hidrotermales derivados de eventos magmáticos tardíos emplazados dentro del Batolito de Ibagué, los cuales removilizaron principalmente sulfuros y oro, a través de fracturas orientadas en dirección NE y NEE, conformando filones de cuarzo y sulfuros ricos en plata y en oro. La composición mineralógica de la mena y la relación entre los sulfuros presentes indica un origen epitermal, probablemente de intermedia a baja sulfuración.

Se trata de una mineralización en una amplia zona de cizalla de comportamiento dúctil-frágil donde los filones tienen una distribución irregular, frecuentemente de forma lenticular

con fallamiento interno. Las paredes exhiben zonas de silicificación, fuerte cloritización e intenso multifracturamiento distribuido irregularmente.

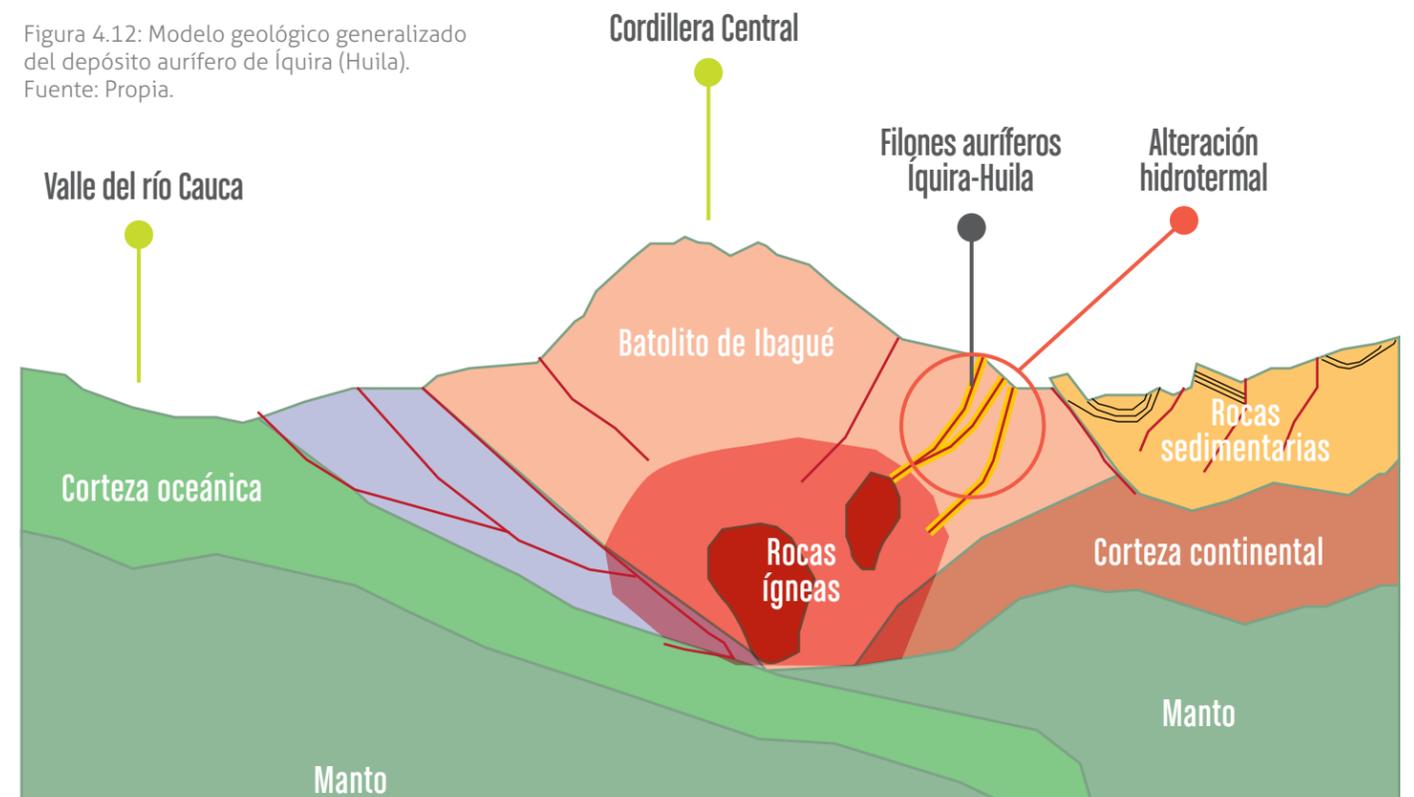
La zona de cizalla puede abarcar desde 1 hasta 3 m de espesor; son frecuentes los bloques intrafalla de estériles y la distribución lenticular de estructuras vetiformes, delgadas e irregulares (10-50 cm), las cuales obedecen a un control estructural en dirección N30-60E.

El yacimiento está conformado por filones subparalelos y lenticulares de cuarzo y sulfuros polimetálicos, entre los que sobresale esencialmente pirita, con cantidades menores de calcopirita, esfalerita y galena. En menor proporción ocurren plata nativa, oro y calcosina-covelina.

Los filones son de naturaleza hidrotermal formados por fracturamiento y relleno de la roca huésped. Regularmente presentan formas tabulares, subparalelas y lenticulares; están dispuestos en dirección N30-60E e inclinados, generalmente al Oeste, con ángulos mayores a 45°. Se observan también estructuras vetiformes delgadas e irregulares (10-15 cm), controladas estructuralmente en dirección N35E.

La metalogénesis ocurre con un evento temprano de cristalización de pirita y cuarzo esencialmente, seguido de un evento mineralizante rico en pirita y cantidades menores de esfalerita, calcopirita y galena, y escasa presencia de pirita arseniosa y arsenopirita. Al final de esta fase se presenta la mineralización aurífera con reemplazamiento de galena, calcopirita y calcosina y precipitación de plata, y corresponde con la fase de mayor enriquecimiento en metales preciosos.

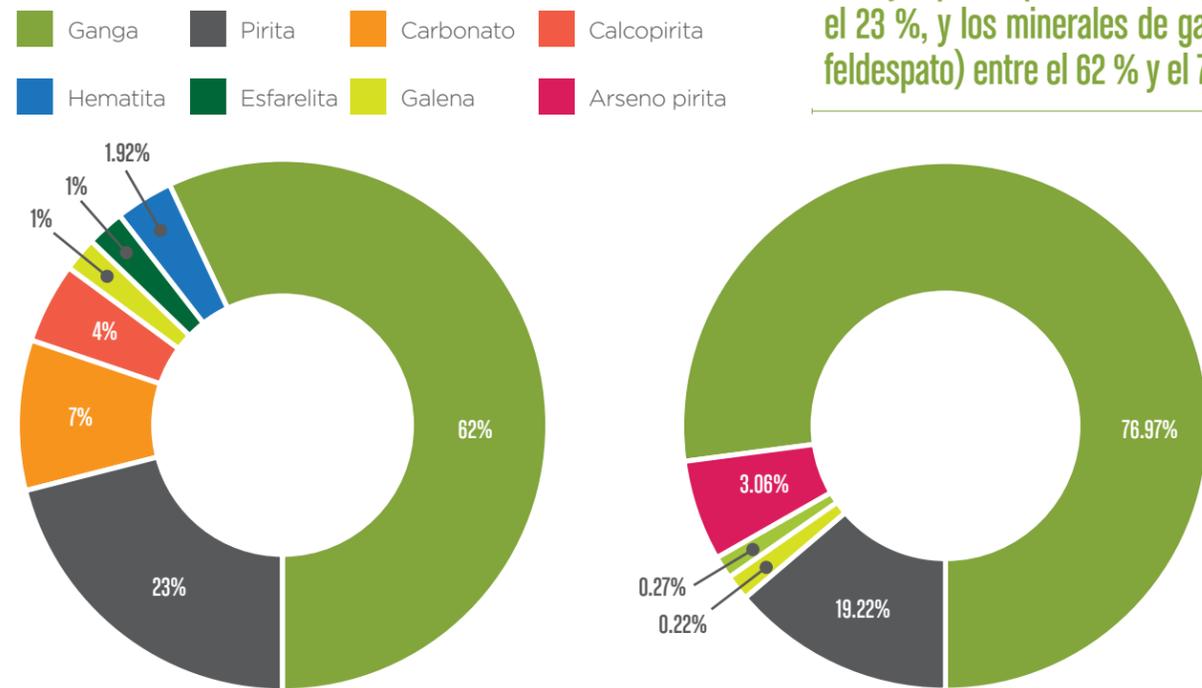
Figura 4.12: Modelo geológico generalizado del depósito aurífero de Íquira (Huila). Fuente: Propia.



4.2.2.5. RANGO EN LA COMPOSICIÓN DE LOS MINERALES EN LAS MENAS

Figura 4.13: Diagrama rango de composición de la mena en Íquira (Huila).
Fuente: Propia.

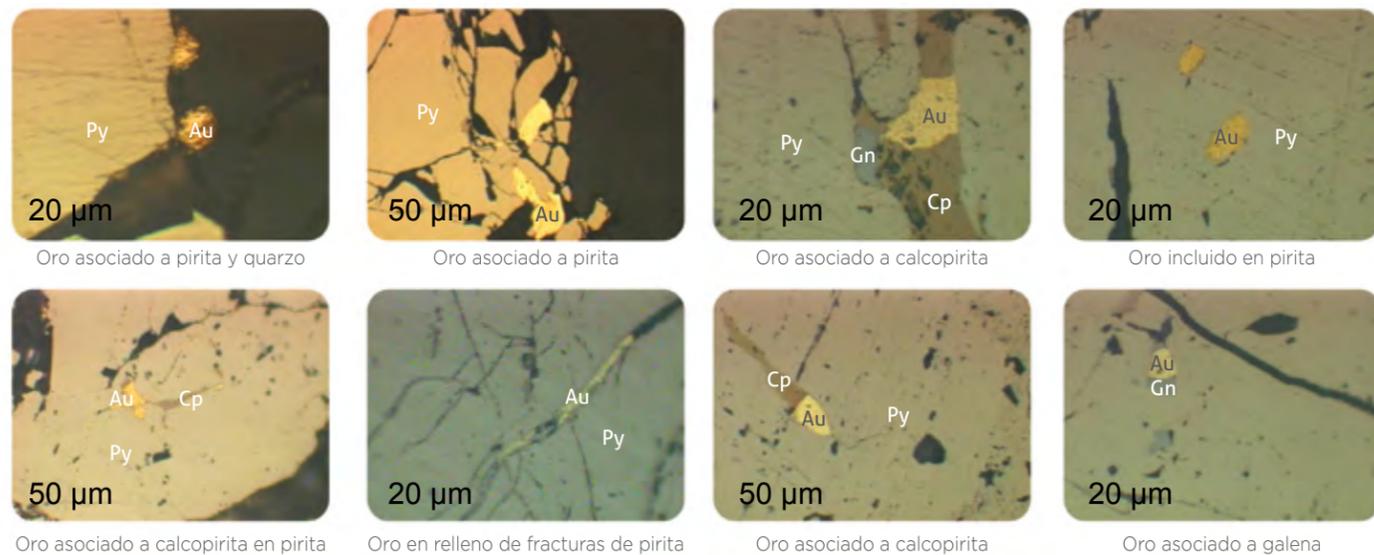
La distribución de los minerales de mena varían entre los rangos de las figuras 1 y 2. Por ejemplo, la pirita varía entre el 19 % y el 23 %, y los minerales de ganga (cuarzo, feldespato) entre el 62 % y el 76 %.



4.2.2.6. OCURRENCIA DE ORO EN LA VETA

La mineralización aurífera tiene lugar principalmente como relleno de fracturas en pirita; regularmente se observan partículas de más de 100 µm en bordes de grano de pirita o relleno de fracturas y poros en cuarzo. Le sigue en importancia una ocurrencia que está relacionada con la presencia de oro asociado a galena y a calcopirita; ocasionalmente el oro se encuentra asociado a calcosina-covelina, con textura de reemplazamiento, todos ellos incluidos en pirita o relleno de fracturas en pirita. Esta ocurrencia corresponde principalmente al oro de tamaño menor a 50 µm.

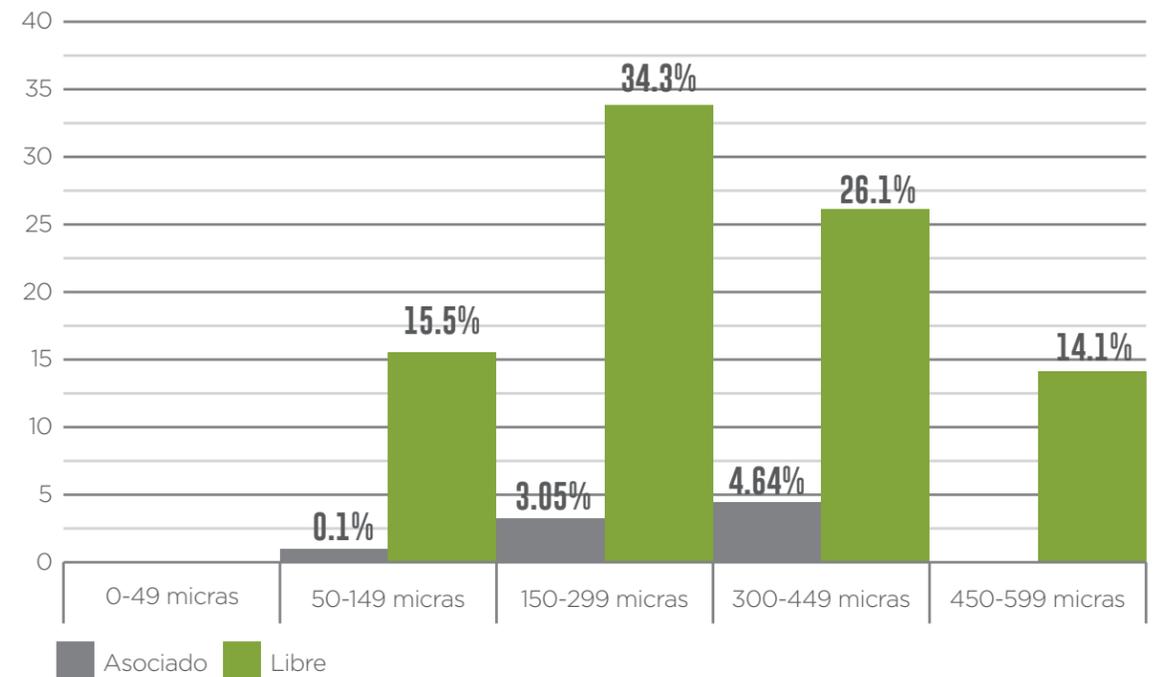
Figura 4.14: Imágenes de microscopio ocurrencia de oro en la veta, Íquira (Huila).
Fuente: Propia.



4.2.2.7. TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE MENA Y ORO

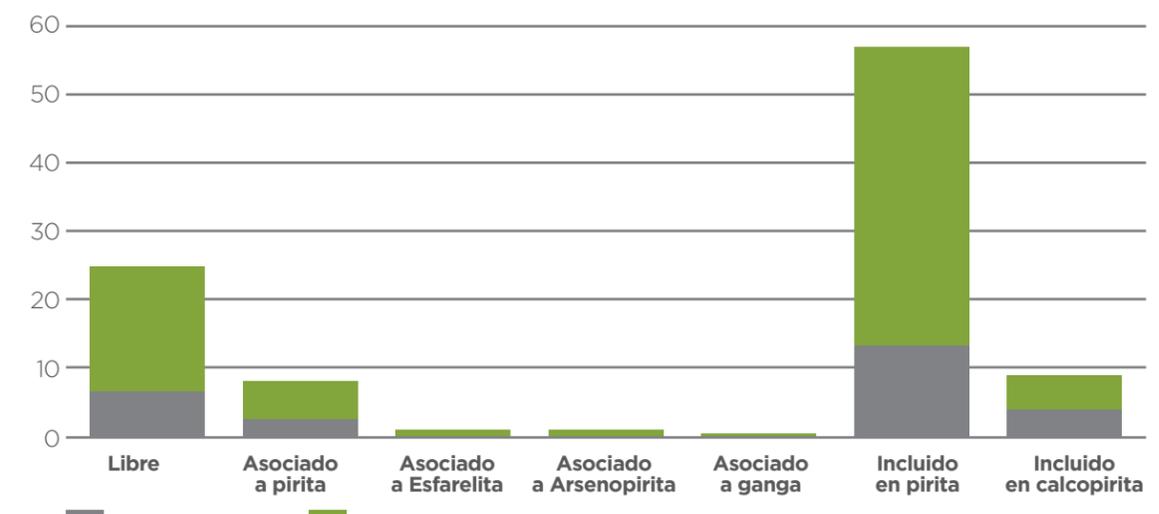
Los análisis de tamaño para liberación de sulfuros a partir de una molienda gruesa indican que las partículas se encuentran libres por debajo de 600 µm, y el más alto porcentaje de granos libres se encuentra entre 150 y 300 µm. Se deduce que una molienda relativamente gruesa aporta un alto grado de liberación cercano al 92 %.

Figura 4.15: Diagrama tamaño de partículas de sulfuros. % en peso.
Fuente: Propia.



En cuanto al tamaño del oro, la mena contiene partículas de oro (electrum) menores a 500 µm, en parte recuperable por concentración gravimétrica convencional; sin embargo, el tamaño modal de estas partículas se presenta en el rango entre 50 y 150 µm, de modo que pueden ser cianuradas sin que requieran tiempos prolongados. En este grupo se encuentran el oro libre (17 %) y el oro asociado a pirita (43 %). El oro menor a 50 µm, en parte libre, incluido en pirita (13 %) o incluido en calcopirita, puede exponerse mediante remolienda. Entonces, desde este punto de vista, los concentrados que hoy van a amalgamación pueden ir a cianuración, condicionado esto a una adecuada molienda previa.

Figura 4.16: Diagrama de tamaño de partículas de oro Íquira (Huila). % en peso.
Fuente: Propia.





4.3. CONSIDERACIONES EN GEOLOGÍA Y MINERALOGÍA

- La roca encajante de la mineralización presenta amplias franjas alternantes de alteración hidrotermal; sobresale la presencia de carbonatos de calcio y franjas con intensa silicificación en vecindad a los filones.
- La mineralización aurífera obedece a un estricto control estructural en zonas de fracturamiento y relleno de espacios abiertos, que pueden abarcar de 1 a 3 m de espesor; las estructuras vetiformes son lenticulares, delgadas e irregulares (10-50 cm) y están orientadas en dirección N30-60E, con inclinaciones mayores a 45° hacia el Oeste.
- La composición mineralógica de la mena corresponde a sulfuros (25 %), con pirita predominante y calcopirita, y esfalerita y galena en menor proporción. La ganga está conformada por cuarzo (65 %), carbonatos (9 %) y óxidos de hierro (1 %).
- En términos generales, la metalogénesis ocurre con precipitación temprana de pirita y cuarzo, seguida de precipitación de pirita y cantidades menores de esfalerita, calcopirita y galena. En la fase tardía precipita oro y reemplaza, eventualmente, galena y calcosina.
- Las partículas de oro se presentan como relleno de fracturas en pirita, regularmente mayores a 100 µm en bordes de grano de pirita, o rellenando fracturas y poros en cuarzo; le sigue en importancia la presencia de oro asociado a galena y a calcopirita, por lo general es de tamaño menor a 50 µm, y también se observa oro asociado a calcosina-covelina y galena con textura de reemplazamiento.
- Las condiciones geológicas y metalogénicas de la mineralización aurífera reflejan dos condicionantes importantes: por un lado, la presencia de carbonatos de calcio favorables en el beneficio para la cianuración, y para la neutralización de colas de proceso en su disposición final y el control de aguas ácidas. Por otro lado, la silicificación de la roca encajante genera endurecimiento de los respaldos que pueden afectar los procesos de reducción de tamaño del material.
- La variación mineralógica a lo largo del depósito es apenas apreciable; las minas del sector norte presentan un leve incremento en el contenido de minerales de cobre, y las minas del sector sur presentan un incremento en el contenido de minerales de plomo y plata nativa.
- Con la mineralogía simple de la mena no se espera refractariedad en proporciones que puedan afectar la cianuración, pues la distribución mineralógica de los sulfuros metálicos característicos, como abundante pirita y cantidades bajas de calcopirita, esfalerita y galena, no serían reactivos, con excepción de calcosina y covelina, y posiblemente otros sulfatos y sulfuros intermedios de oxidación observados bajo microscopio, que se encuentran aportando cobre a la solución de cianuración.
- Los análisis de liberación de sulfuros indican un alto grado de liberación, cercano al 92 %, cuando el material se somete a una primera molienda gruesa, condición favorable en la determinación de parámetros de molienda en planta.
- La ocurrencia de oro libre y de oro de tamaño mayor a 100 µm asociado a pirita representa el 60 % del total, con lo cual se espera tener una alta recuperación en procesos gravimétricos convencionales. Para recuperar el 40 % sería conveniente planear extracción no convencional.

Molino de bolas y mesa de concentración en planta Íquira (Huila)
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano

5. ASPECTOS METALÚRGICOS

En este capítulo se muestran los diferentes aspectos metalúrgicos que se deben tener en cuenta, partiendo desde el conocimiento de las fases que comprende el proceso de beneficio y los principales equipos que realizan las operaciones unitarias.

5.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS: PROCESO BENEFICIO METALURGICO

5.1.1. BENEFICIO DE MINERALES EN PLANTA

CONTROL MINERALÓGICO



Composición mineralógica, liberación de sulfuros y oro, y tamaño de partículas.

Identificación de minerales livianos y pesados, tamaños de partículas y ocurrencia de oro.

Identificación de sulfuros. Proporción de minerales flotados, presentación de oro y ocurrencia de oro en colas de flotación.

Identificación de oro no cianurado y recubrimientos.

Determinación de oro en residuos sólidos. Formación de sulfatos y drenaje ácido (capa rosa).
Minerales residuales en colas.

Figura 5.1: Diagrama de procesos generales de beneficio en planta.
Fuente: Propia.

TRITURACIÓN Y MOLIENDA

Preparación del material previo a la extracción de oro. Reducción de tamaño y liberación de sulfuros.



Trituradora de quijadas



Trituradora de martillos



Molino de bolas

CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

Diferenciación de partículas y concentración por gravedad con movimiento. Las colas están generalmente compuestas por material, y pueden contener partículas muy finas de minerales pesados, entre ellas, partículas de oro minúsculo.



Mesa Wilfley



Concentrador de impulsos (JIG)

FLOTACIÓN

Separación selectiva de partículas sólidas de una fase líquida por medio de burbujas de aire.



Celdas de flotación



Reactivos

CIANURACIÓN

Proceso para separar las partículas de oro de los sulfuros asociados por medio de la lixiviación con cianuro.



Tanques agitadores



Separación de sólidos y líquidos



Merrill Crowe

FUNDICIÓN



Crisol

RESIDUOS SÓLIDOS EN TRATAMIENTO DE AGUAS

Tratamiento de las soluciones resultantes de las operaciones unitarias, que deben ser clarificadas para su recirculación o desecho.

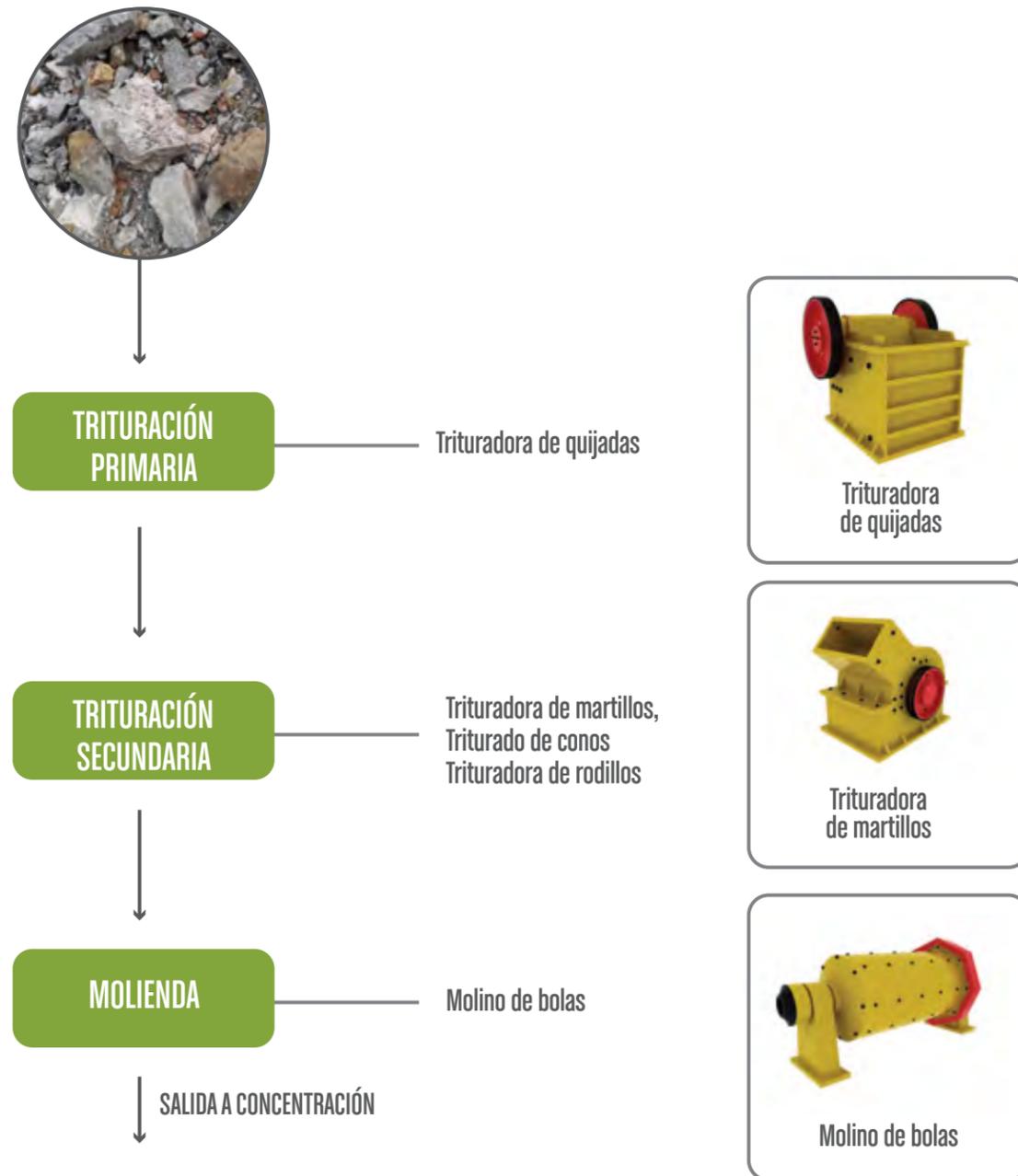
5.1.2. PROCESO DE CONMINUCIÓN (TRITURACIÓN Y MOLIENDA)

La conminución, o reducción de tamaño de un material, es una etapa importante y normalmente la primera en el procesamiento de minerales. Los objetivos de la conminución pueden ser:

- Producir partículas de tamaño y forma adecuadas para su utilización directa.
- Liberar los materiales valiosos de la ganga, de modo que puedan ser concentrados.
- Aumentar el área superficial disponible para reacción química.

La reducción de tamaño de las rocas y minerales hasta lograr su adaptación a las operaciones de molienda y concentración se debe 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.

Figura 5.2: Diagrama de proceso de conminución (tritución y molienda).
Fuente: Propia.



Se puede definir la trituración como el conjunto de operaciones cuyo objeto es reducir de tamaño grandes trozos de material a fragmentos, para facilitar las operaciones subsiguientes (transporte, etc.).

El fin principal es entregar a la molienda, en diferentes etapas, un tamaño de partícula lo más reducido posible. Los procesos en las máquinas trituradoras se dividen convencionalmente en trituración primaria (gruesa) y trituración secundaria (media y fina).

5.1.2.1. TRITURACIÓN PRIMARIA (GRUESA)

Para la trituración gruesa se emplean las trituradoras de quijadas y giratorias (cónicas). Los tamaños de alimentación pueden variar, según el tamaño de la planta de beneficio. Así, para plantas que procesan más de 1000 t/h pueden tener una dimensión de trozo no mayor de 1500 mm. Se tritura bajo la acción, fundamentalmente, de las fuerzas de aplastamiento, penetración y frotación hasta obtener trozos con una dimensión aproximada de 300 a 100 mm, que son enviados a las siguientes etapas de trituración.

TRITURADORA DE QUIJADAS

En la trituradora de quijadas, el material se tritura mediante compresión, en combinación con la penetración, y por la flexión entre las quijadas fija y móvil. La quijada móvil se aproxima (durante la marcha de trabajo) o se aleja (durante la marcha en vacío) de la quijada fija, al rotar el árbol excéntrico. Durante la marcha de trabajo se efectúa la trituración, y durante la marcha en vacío, la descarga por debajo del material triturado por la acción de su propio peso.

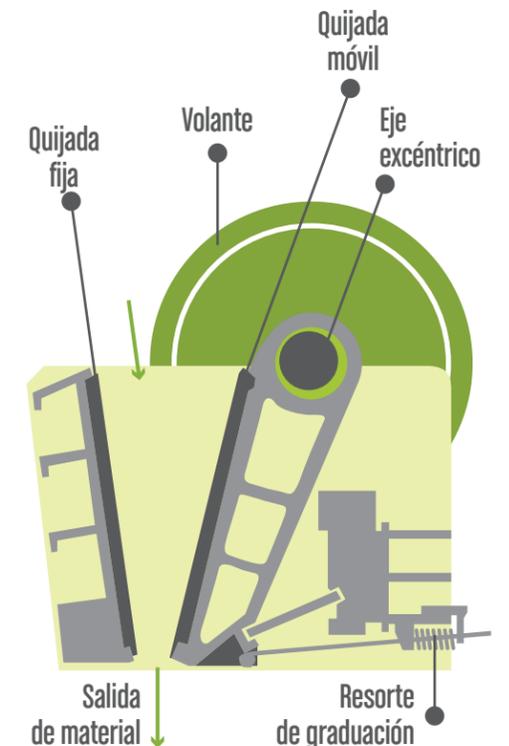
En ÍQUIRA la trituración primaria recibe un material < 10" y de esta operación debe resultar de tamaño < 2".

Fotografía 6: Modelo de trituradora de quijadas.
Fuente: Propia.



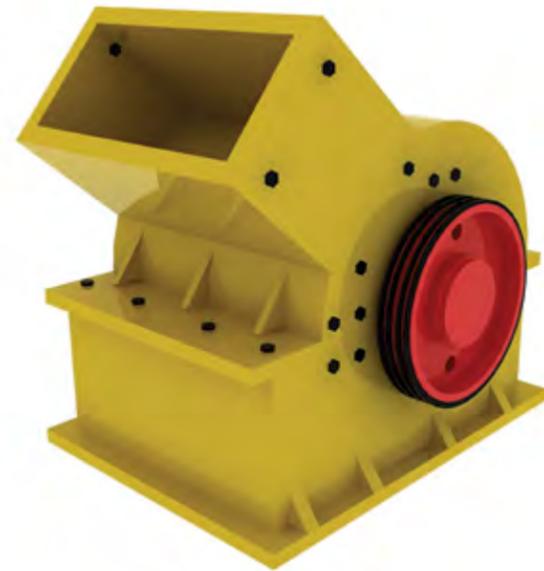
Figura 5.3: Diagrama de funcionamiento de la trituradora de quijadas.
Fuente: Propia.

VARIABLES DE ENTRADA	VARIABLES DE OPERACIÓN
· Ángulo de pellizco	· Ancho de abertura de la boca
· Diámetro mineral inicial	· Longitud de la boca
· Diámetro mineral final	· Altura de la pared delantera
· Índice de Bond (kWh/t)	· Capacidad (t/h)
· Coeficiente de variación de peso	· Velocidad (rpm)
· Densidad mineral	· Velocidad crítica (rpm)
· Eficiencia	· Velocidad óptima (rpm)
· Múltiplo de variación de longitud de boca.	· Potencia requerida (HP)



Antes de la tritución secundaria se realiza una clasificación de material de 3/8", pues el producto entregado debe ser una partícula de < 1/4".

Fotografía 7: Modelo de trituradora de martillos.
Fuente: Propia.



5.1.2.2. TRITURACIÓN SECUNDARIA (FINA)

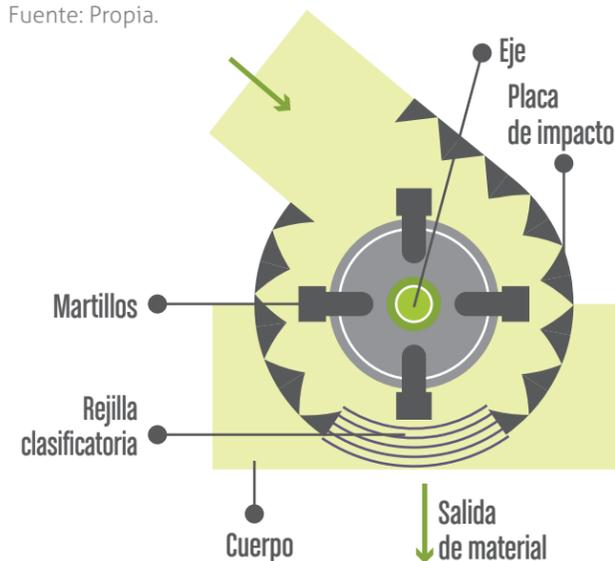
Después de la tritución gruesa, el material se somete con frecuencia a una tritución siguiente, en las máquinas de tritución media y fina, en las cuales el proceso se realiza con el tamaño de salida de la tritución primaria hasta tamaños tan pequeños como de 10 mm. Para la tritución media y fina se utilizan principalmente trituradoras cónicas y de impacto (martillos).

TRITURADORA DE IMPACTO (MARTILLOS)

La trituradora de impacto es una máquina que aprovecha la energía de un impacto o golpe para romper el material. En general, estas máquinas proporcionan mejores curvas de rendimiento que las trituradoras de mandíbulas, así como un buen factor de forma. Sin embargo para materiales arcillosos su rendimiento puede desmejorar.

La boca de entrada se sitúa en la parte superior, en un lateral, y a unos 45° con la vertical, y la boca de salida se encuentra en la parte inferior. Las placas de choque, de acero al manganeso, se desgastan de forma desigual, por lo que se diseñan simétricas para invertirlas y aprovecharlas mejor. Suelen ser dentadas para facilitar la fractura del material.

Figura 5.4: Diagrama de funcionamiento de trituradora de martillos.
Fuente: Propia.



MODELO	TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN (mm)	TAMAÑO DE DESCARGA (mm)	CAPACIDAD (t/h)	POTENCIA DEL MOTOR (kw)	PESO (kg)
400 x 300	< 100	< 10	5-10	11	800
600 x 400	< 120	< 15	10-25	18.5	1500
800 x 600	< 120	< 15	20-35	55	3100
1000 x 800	< 200	< 13	20-40	115	7900
1000 x 1000	< 200	< 15	30-80	132	8650
1300 x 1200	< 250	< 19	80-200	240	13600

5.1.2.3. MOLIENDA

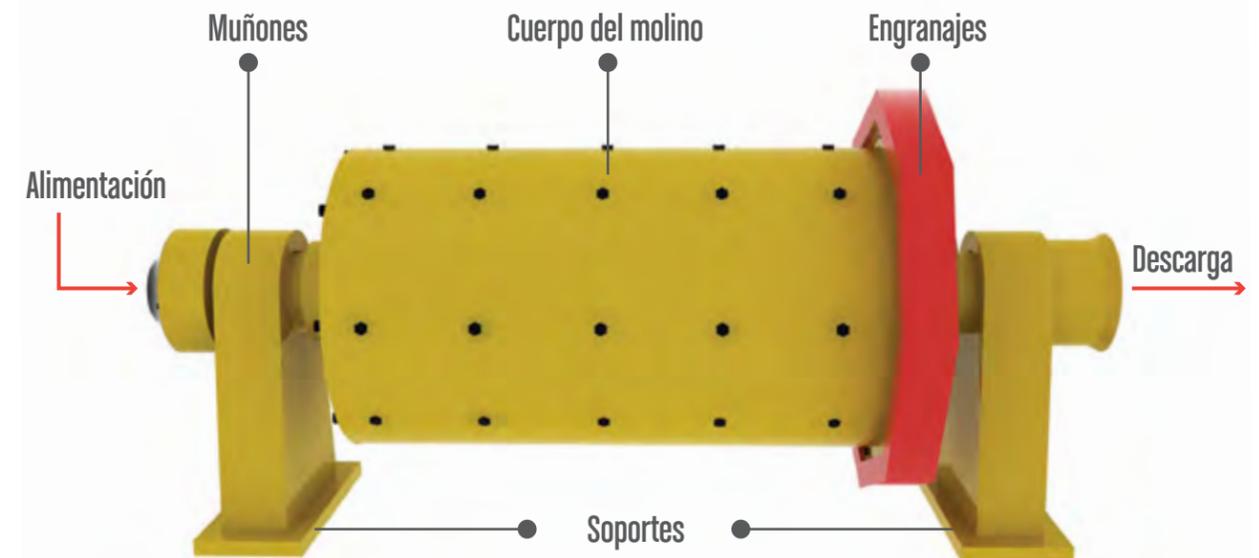
Es la operación final del proceso de conminución, y consiste en reducir de tamaño partículas procedentes de la tritución media o fina (con dimensiones por debajo de 20 mm) hasta un tamaño que se encuentra en el rango 28-200 mallas Tyler en la molienda gruesa, y menores de 325 mallas para la molienda fina. La molienda gruesa se conoce en la práctica como convencional.

OBJETIVOS DE LA OPERACIÓN

Según el destino que se dé al producto y si la molienda antecede a un proceso de concentración en un circuito de beneficio mineral, los objetivos pueden ser:

- Desprender el mineral útil de la ganga a un tamaño lo más grueso posible. Este es el caso de la concentración gravimétrica, en la cual se debe evitar la sobreproducción de finos (lamas).
- Obtener el tamaño apropiado para el proceso de concentración por flotación espumante o para los procesos hidrometalúrgicos en los que se requiere que el mineral útil esté expuesto en la superficie de cada partícula, para que así puedan actuar sobre él los reactivos utilizados en los procesos mencionados.

Fotografía 8: Modelo de molinos de bolas.
Fuente: Propia.



MOLINO DE BOLAS

Los molinos rotatorios se componen de un tambor cargado aproximadamente en un 45 % de su volumen con medios moledores (bolas de acero, barras y cilindros de acero o guijarros, etc.). Durante la rotación del tambor los medios moledores son arrastrados conjuntamente por la superficie de las paredes bajo la acción de la fuerza centrífuga y la fuerza de rotación a una altura determinada, y luego se deslizan o caen libremente, moliendo el material por impacto, aplastamiento y fricción.

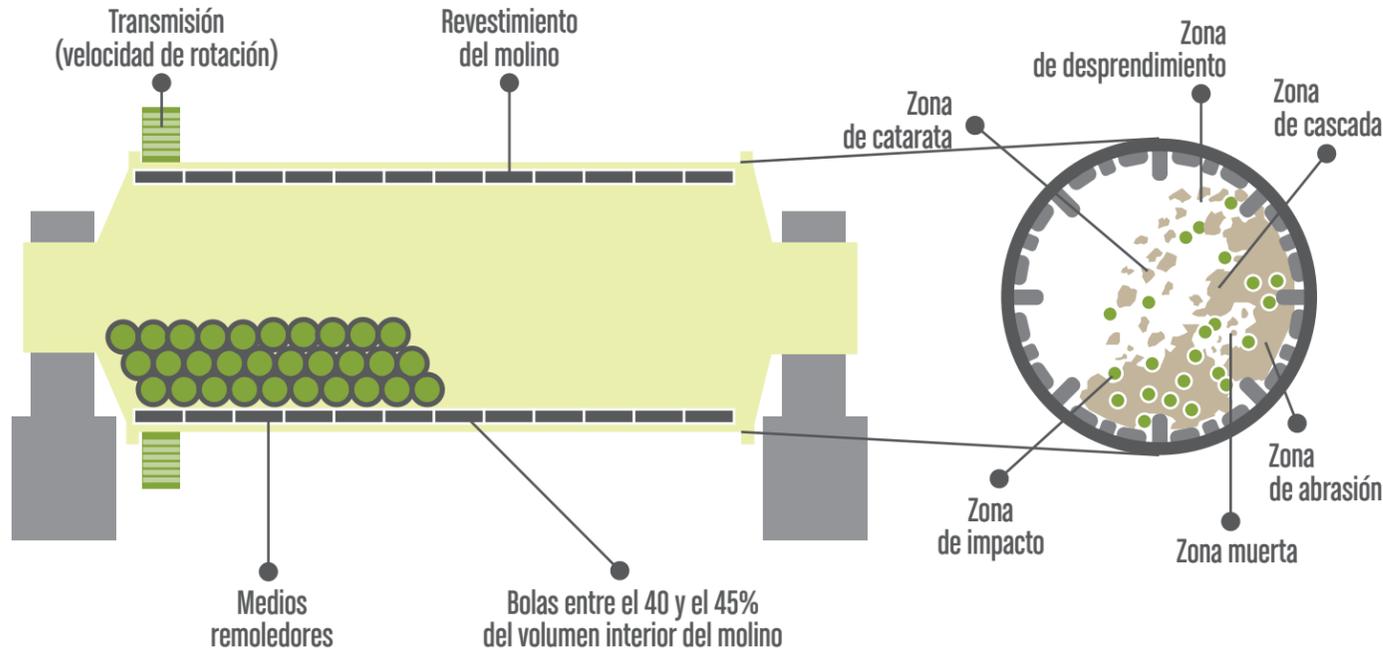
Las bolas (cuerpo moledor) están completamente sueltas, móviles y son relativamente grandes o pesadas, comparadas con las partículas del material a moler. Las bolas son arrastradas y levantadas por la rotación del tambor en un ángulo tal que la fuerza de gravedad (su propio peso) supera a las fuerzas de cohesión y centrífuga de rotación del tambor. Estas entonces caen en movimiento de cascada y catarata, fracturando las partículas por impactos y fricciones continuas y repetidas, lo que se logra cuando el molino gira por debajo de su velocidad crítica.

La velocidad crítica es aquella en la cual la fuerza centrífuga, por efecto del giro del molino, hace que los cuerpos moledores se mantengan adheridos a la pared del molino y no caigan antes de dar un giro completo.

$$V_c = \frac{42,3}{\sqrt{D_m}}$$

V_c = Velocidad crítica del molino (rpm)
D_c = Diámetro interior del molino (m)

Figura 5.5: Diagrama de funcionamiento de un molino de bolas.
Fuente: Propia.



MODELO	DIÁMETRO x LARGO (mm)	MOLINO (rpm)	MOTOR (HP)	CARGA DE BOLAS 45% (kg)	PESO (kg)	CAPACIDAD (t/día)
3 x 3	915 x 915	33	10	1265	4070	11.5
3 x 4	915 x 1220	33	15	1670	4480	15
3 x 5	915 x 1520	33	20	2080	4880	20
3 x 6	915 x 1830	33	20	2500	5288	24
4 x 4	1220 x 1220	29	25	2980	9620	32

VARIABLES DE ENTRADA

- Longitud del cilindro
- Diámetro del cilindro
- Nivel de llenado aparente
- Densidad de bolas
- Densidad de mineral
- Densidad del fluido
- Diámetro mineral inicial
- Diámetro mineral final
- Capacidad
- Porcentaje de sólidos
- Índice de Bond

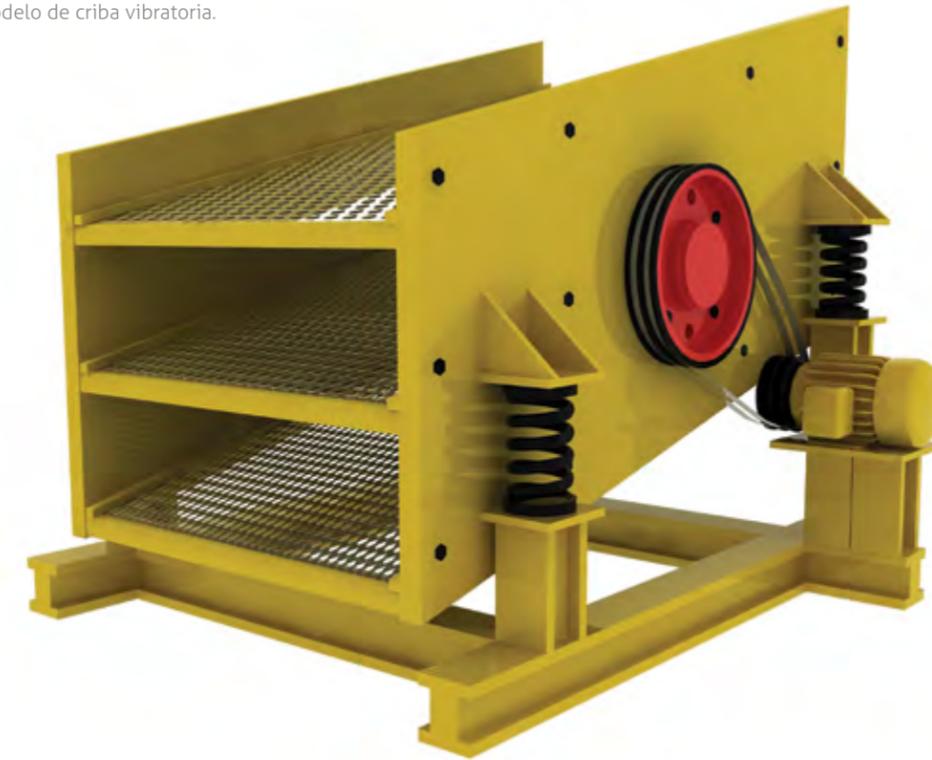
VARIABLES DE OPERACIÓN

- Relación largo-diámetro
- Densidad de pulpa
- Velocidad crítica
- Velocidad óptima
- Volumen del cilindro
- Volumen de carga interior
- Diámetro máximo de bolas
- Número de bolas con diámetro máximo
- Potencia neta
- Tiempo de residencia

5.1.3. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA

El proceso de división de los sólidos a granel en clases según el tamaño, mediante el cernido a través de uno o varios tamices, se denomina clasificación granulométrica. Dicha clasificación en la criba se efectúa con un movimiento relativo del material y la superficie de trabajo (tamiz). Como resultado se obtienen dos productos: partículas que pasaron a través del tamiz (corriente b, llamada de bajo tamaño) y partículas que quedaron en la parte superior del tamiz (corriente k, llamada de rechazo).

Fotografía 9: Modelo de criba vibratoria.
Fuente: Propia.



La función de la criba es dividir la corriente de alimentación en fracciones por tamaño, independientemente de su composición química o mineralógica.

VARIABLES QUE AFECTAN LA OPERACIÓN

A continuación se relacionan las variables que afectan la operación:

El que una partícula determinada de la alimentación vaya al rechazo (R) o al bajo tamaño (B), depende de la posibilidad que tenga para pasar a través de la abertura del tamiz.

Las partículas sobre la superficie de trabajo se estorban unas con otras y por ello puede ocurrir que algunas no lleguen a descender hasta la superficie. La posibilidad de que una partícula pase a través de un orificio una vez llegue a la superficie depende:

- De las dimensiones de las partículas y el orificio del tamiz.
- De la forma de alimentación y posición de llegada a la superficie.
- De la inclinación de la superficie.

Las cribas son útiles principalmente durante las etapas de trituración. En tamaños de orificio inferiores a 1/16" pierden su eficiencia debido a taponamiento.

5.1.4. CLASIFICACIÓN HIDRÁULICA

Esta operación de clasificación se caracteriza por el uso de agua adicional a la de la pulpa de alimentación, introducida de manera que la dirección de su flujo se oponga a la dirección de las partículas que se están realimentando. En la minería de oro se suelen emplear genéricamente dos tipos de clasificadores hidráulicos: de corriente horizontal accionados mecánicamente y los hidrociclones.

Fotografía 10: Modelo de hidrociclón.
Fuente: Propia.



HIDROCICLÓN

El hidrociclón es un equipo que se emplea, entre otras cosas, para la clasificación de partículas relativamente de bajo tamaño (entre 300 y 5 μm aproximadamente). La palabra hidrociclón proviene del prefijo hidro-, que se refiere a operación por vía húmeda (generalmente agua), y ciclón, que se refiere a la formación interna de un vórtice hidráulico (cuando se opera con agua) o neumático (cuando se opera con aire).

Aunque el hidrociclón es un equipo bastante simple en su forma, su funcionamiento es muy complejo. Se parte del hecho de que la pulpa entra con una alta velocidad tangencial, la que desarrolla un vórtice; las partículas, debido a este movimiento circular, se ven sometidas a dos fuerzas: la fuerza centrífuga, que lanza las partículas hacia las paredes del hidrociclón, fuerza que es producto del movimiento curvilíneo. La otra fuerza es la centrípeta, dirigida como su nombre lo indica al centro del equipo. Esta fuerza es el resultado de un movimiento radial que se origina por un semivacío que se produce en el centro del hidrociclón.

Debido a la diferencia de presión entre el vórtice y su centro se origina una fuerza para tratar de llenar el vacío; ahora, si al vórtice formado por la pulpa se le introduce un tubo en la parte superior (buscador de vórtice), por este comienza a ascender dicha pulpa y a evacuar el hidrociclón, por tanto queda un equipo con una entrada tangencial y dos salidas: una superior, que se denomina rebalse, y otra inferior, que se denomina descarga.

Entonces, como el buscador del vórtice está ubicado en el centro, por él va a evacuarse el material fino mientras que por la descarga saldrán las partículas más gruesas de la distribución granulométrica que ingresó al equipo.

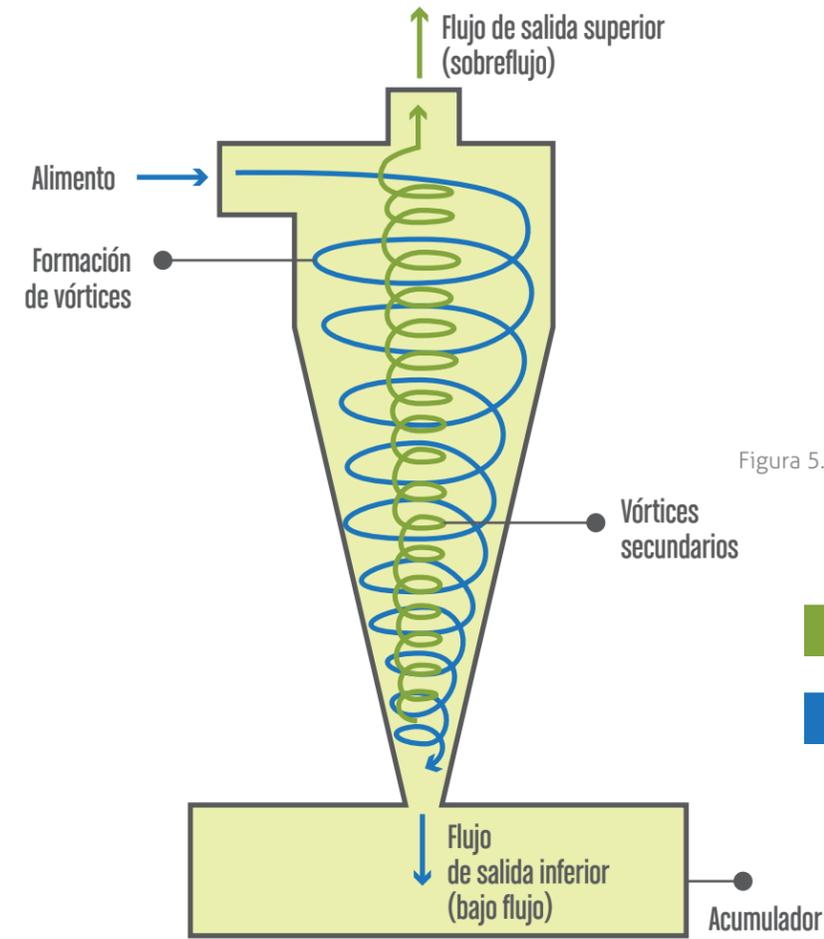


Figura 5.6: Diagrama de funcionamiento de un hidrociclón.
Fuente: Propia.

- Trayectoria típica de partículas pequeñas y livianas
- Trayectoria típica de partículas grandes más pesadas

VARIABLES DE OPERACIÓN

- Peso de la pulpa
- Densidad de la pulpa
- Caudal de pulpa
- Diámetro cilíndrico
- Diámetro rebosadero
- Diámetro de alimentación
- Diámetro de descarga

VARIABLES DE ENTRADA

- Masa de sólidos en descarga
- Diámetro mineral rebosadero
- Densidad del sólido
- Densidad de fluido
- Porcentaje de sólidos
- Masa de sólidos por hora
- Caída de presión
- Porcentaje de rebose (*Overflow*)

PULGADAS (")	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (kg)	VOLUMEN (m³)	CAUDAL (m³/h)	PRESIÓN MÁX (kg/cm²)
2"	8"	792	20	0.063	11-17	8
3"	8"	910	26	0.133	18-34	8
4"	16"	1630	105	1.100	52-82	8
6"	20"	2195	230	1.350	98-160	8

5.1.5. CONCENTRACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR GRAVIMETRÍA

El objetivo principal de la concentración es el de enriquecer el mineral, eliminando la ganga y minimizando la pérdida de mineral en cuanto sea posible.

El concepto de tenor es importante en el desarrollo de los objetivos que se pretenden alcanzar en la concentración de minerales. Se puede definir el tenor de un mineral como la relación que existe entre la cantidad másica o volumétrica de mineral de interés o útil (oro) con respecto a la cantidad másica o volumétrica en la mena. Por tanto, el tenor se puede expresar en gramos de mineral útil por tonelada de material total (g/t, g/m³).

$$\text{TENOR} = \frac{\text{CANTIDAD DE MINERAL ÚTIL}}{\text{CANTIDAD DE MINERALES EXTRAÍDOS}}$$

Ahora, el objetivo de la concentración es elevar el tenor de una especie mineralógica de un metal u otro material en el concentrador, partiendo del tenor de alimentación. En el caso ideal el tenor del material útil en las colas debe ser nulo o cercano a cero; no obstante, como en todos los procesos no hay escenarios perfectos, este debe minimizarse en cuanto sea posible.

- Elimina del circuito de planta minerales que no poseen riqueza alguna y que generan costos de manejo y tratamiento, como las gangas.
- Elimina del circuito de planta minerales cuya presencia pueda presentar consecuencias negativas en el proceso de extracción metalúrgica.
- En algunos casos el concentrado obtenido ya es un material con valor comercial o industrial, como los concentrados de oro de fácil recuperación.

IMPORTANCIA DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN

4.1.5.1. CONCENTRACIÓN GRAVITACIONAL O GRAVIMÉTRICA

La concentración gravimétrica puede definirse como la separación de dos o más especies de minerales con diferente peso específico (diferente densidad), causada por el movimiento relativo bien sea en un medio acuoso o aire, debido a la respuesta de los sólidos a las fuerzas gravitacionales de arrastre y empuje.

Para que exista una buena separación debe tenerse en cuenta no alimentar las máquinas de concentración con distribuciones granulométricas muy amplias; es decir, donde haya desde partículas muy finas a partículas muy gruesas.

Para una separación gravimétrica efectiva debe existir una diferencia entre los valores de la densidad del mineral y la ganga. Calculando el criterio de concentración, se tendrá una idea de la viabilidad de la operación.

$$CC = \frac{\rho_h - \rho_f}{\rho_l - \rho_f}$$

ρ_h = Densidad del mineral pesado.
 ρ_f = Densidad del medio fluido.
 ρ_l = Densidad del mineral liviano.
CC = Criterio de concentración.

VALOR DE CC =	SEPARACIÓN
+ 2.50	Fácil
1.75-2.50	Posible
1.50-1.75	Difícil
1.25-1.50	Muy difícil
< 1.25	No posible

MESAS DE CONCENTRACIÓN (MESA WILFLEY)

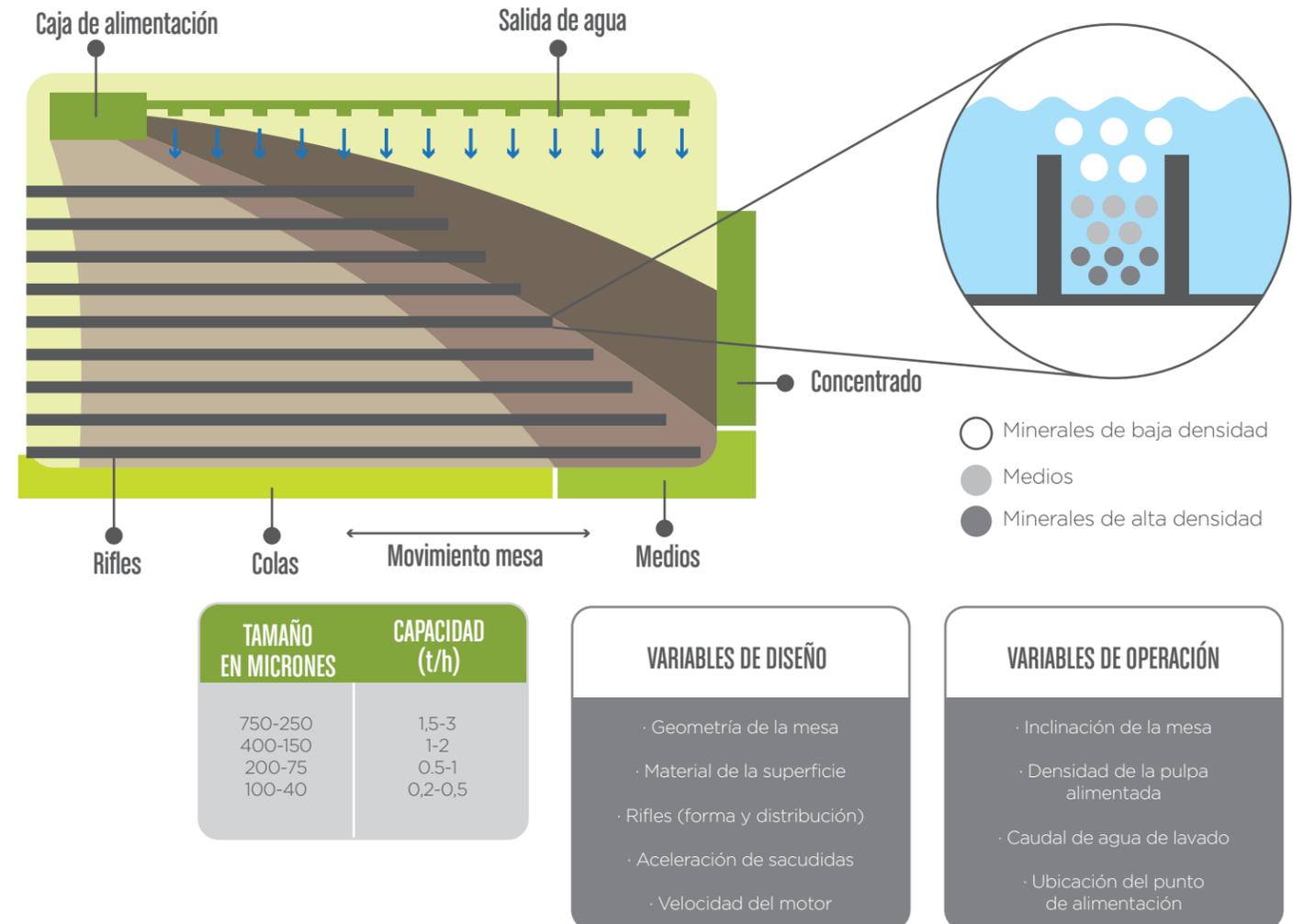
Las mesas de concentración (mesa Wilfley) son un concentrador que consiste en una mesa ligeramente inclinada sobre la cual la alimentación, con un porcentaje de casi un 25 % en peso de sólidos, se introduce en la caja y se distribuye por medio del agua de lavado que ingresa a lo largo de la superficie por el lado de alimentación. La mesa vibra longitudinalmente mediante el mecanismo, logrando un desplazamiento lento hacia la izquierda y un retorno rápido hacia la derecha, lo cual genera que las partículas minerales se arrastren lentamente a lo largo de la cubierta paralela en dirección del movimiento más lento.

Las partículas se mueven diagonalmente a través de la cubierta desde el extremo de alimentación; las más pequeñas y pesadas viajan con mayor velocidad hacia el punto de recolección en el extremo distante, mientras que las partículas más ligeras y grandes son conducidas al lugar de recolección de colas. Se usan colectores con separadores ajustables para recibir el producto concentrado, los medios (mezcla de concentrado y ganga) y las colas (ganga liberada).

Fotografía 11: Modelo de mesa de concentración. Fuente: Propia.



Figura 5.7: Diagrama de funcionamiento de una mesa de concentración gravimétrica. Fuente: Propia.



5.1.6. CONCENTRACIÓN DE MINERALES AURÍFEROS POR FLOTACIÓN

Fotografía 12: Modelo de celda de flotación para laboratorio.
Fuente: Propia.



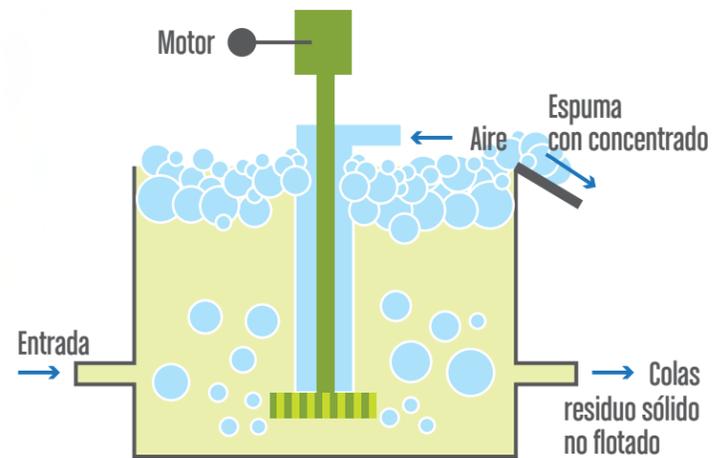
Fotografía 13: Modelo de celda de flotación industrial.
Fuente: Propia.



La flotación espumante se basa en la capacidad que posee la superficie de un sólido para ser humectado o no por el agua. Cuando dicho sólido permite ser humectado se dice que es hidrofílico (adsorbe agua en su superficie), mientras que si no se deja mojar es hidrofóbico; al introducir estos últimos minerales en agua sus superficies no formarán enlaces con los grupos polares, por ende, en presencia de una burbuja que asciende, estos se adhieren y la acompañan a flotar hacia la superficie.

Para poder retirar este mineral es necesario agregar un reactivo químico (tensoactivo), el cual disminuye la tensión superficial del agua y permite el paso de las partículas; este tensoactivo produce una fase de espuma que se puede retirar con una paleta, manual o mecánicamente. Debido a que la gran mayoría de minerales son hidrófilos es necesario agregar otro reactivo que se adsorba selectivamente sobre la superficie de las partículas de interés; este se denomina agente colector y es el de mayor importancia en la operación.

Figura 5.8: Diagrama de funcionamiento de una celda de flotación.
Fuente: Propia.



REACTIVOS DE FLOTACIÓN	DESCRIPCIÓN
Agente espumante	Tensoactivo para generar espuma. Generalmente se usa aceite de pino (0.1 lb/t aprox.)
Agente colector	Para el caso del oro, colectores afines al azufre, generalmente Xantatos (0.1 lb/t aprox.)
Reguladores de pH	Se acostumbre a tener un pH de 6 a 7.

VARIABLES DE ENTRADA
· Porcentaje de sólidos
· Densidad del sólido
· Densidad del fluido
· Cantidad de sólido por hora
· Cantidad de celdas

VARIABLES DE OPERACIÓN
· Densidad de la pulpa
· Caudal de pulpa por hora
· Volumen de trabajo en celdas
· Volumen de una sola celda
· Longitud de lado de la celda

5.1.7. CIANURACIÓN

El proceso de lixiviación de oro con cianuro es el método más importante desarrollado para extraer el metal, el cual es utilizado en prácticamente todas las principales operaciones mineras en el mundo.

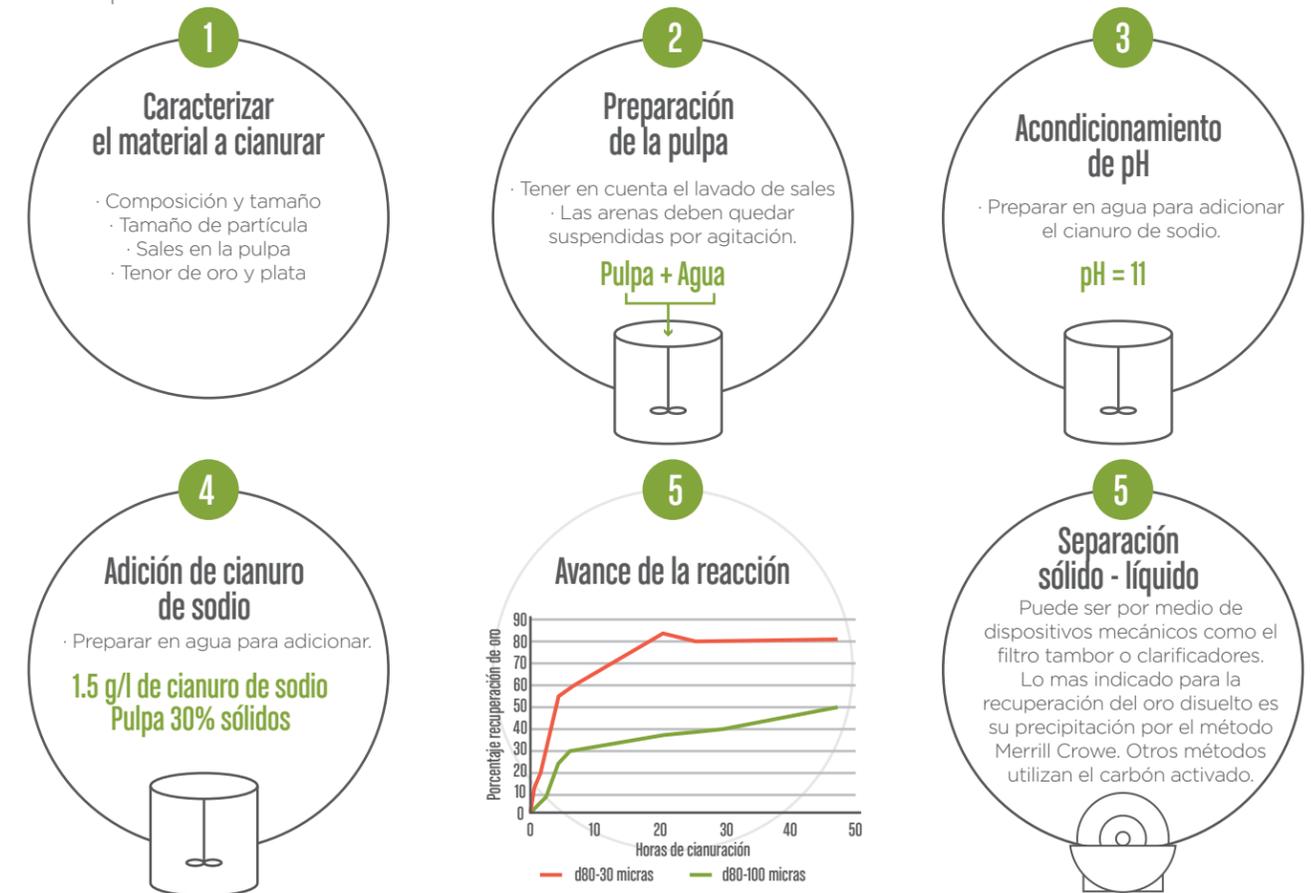
Las razones para su gran aceptación son tanto económicas como metalúrgicas. En general, con este proceso se obtiene una mayor recuperación de metal que con el proceso de amalgamación, y es más seguro y simple de operar que procesos con cloro o bromo. La barra de oro final resultante de la operación será prácticamente pura.

El proceso de cianuración se basa en el hecho de que las soluciones de cianuro de potasio o sodio tienen una disolución preferencial hacia las partículas de oro metálico que sobre otros materiales.

La siguiente ecuación engloba la reacción de la cianuración y el compuesto que se analiza:



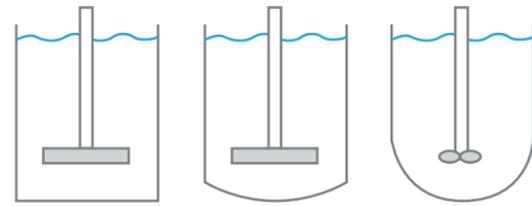
Figura 5.9: Pasos a tener en cuenta para realizar el proceso de cianuración.
Fuente: Propia.



La cianuración es fuertemente afectada por el pH de la solución, por lo que es esencial que la solución de cianuro se mantenga alcalina (altos pH) durante la lixiviación del oro por las siguientes razones:

- Para prevenir la hidrólisis del ion cianuro.
- Para prevenir la descomposición del cianuro por el CO₂ presente en el medio ambiente.
- Para neutralizar compuestos ácidos de las menas, como sales ferrosas y sulfato de magnesio en las aguas de las plantas antes de ser agregadas al circuito de cianuración.
- Para descomponer el bicarbonato en las aguas de las plantas antes de usarse en la cianuración.
- Para ayudar a la sedimentación de partículas de tal manera que se pueda obtener una solución clara durante la separación de la mena cianurada.

Fotografía 14: Modelo de tanque agitador.
Fuente: Propia.



VARIABLES DE ENTRADA

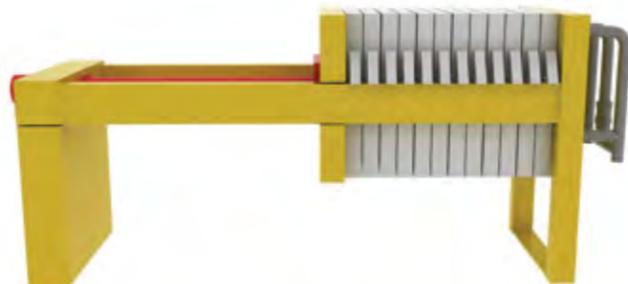
- Densidad del sólido (kg/m³)
- Densidad del fluido (kg/m³)
- Volumen de la solución (l)
- Velocidad del impulsor (rpm).
- Tipo de fondo del tanque:
plano, plato, esférico
- Tipo de impulsor:
Hélice paso cuadrado, 3 palas
Hélice paso de 2, 3 palas
Turbina, 6 palas planas
Turbina, 6 palas curvas
Turbina, 2 palas planas

VARIABLES DE OPERACIÓN

- Volumen del tanque (l)
- Diámetro del tanque (m)
- Longitud del tanque (m)
- Altura de solución (m)
- Diámetro del agitador (m)
- Ancho del agitador (m)
- Distancia fondo agitador (m)
- Diámetro de los 4 bafles (m)
- Potencia del impulsor (HP)

Hay otros métodos para conseguir separar la solución rica de las arenas al finalizar la cianuración. El espesador es un sedimentador que entrega solución clarificada por rebose y una pulpa sedimentada con una concentración de sólidos por peso que puede ser mayor al 80 %. Esta pulpa puede impulsarse a un filtro prensa, a un filtro de tambor o llevarse a un tanque percolador para efectos de recuperación de solución rica y descomposición de compuestos ambientalmente dañinos.

Fotografía 15: Modelo de filtro prensa y filtro de tambor.
Fuente: Propia.



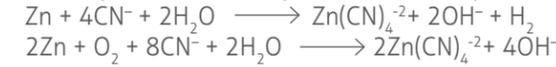
5.1.7.1. PRECIPITACIÓN POR EL PROCESO DE MERRIL CROWE

La cianuración industrial de un material aurífero produce una solución cuya concentración de oro está generalmente por encima de 2 mm de oro por l (ppm), dependiendo del material lixiviado y del sistema utilizado.

Durante la precipitación de oro en zinc, la solución aurífera entra en contacto con el zinc y, espontáneamente, dado que el zinc es mucho más electropositivo que el oro, ocurre un intercambio por medio del cual el zinc metálico se va solubilizando en la solución mientras el oro se va precipitando desde ella. Una expresión química que representa el modelo de precipitación de oro en zinc es:



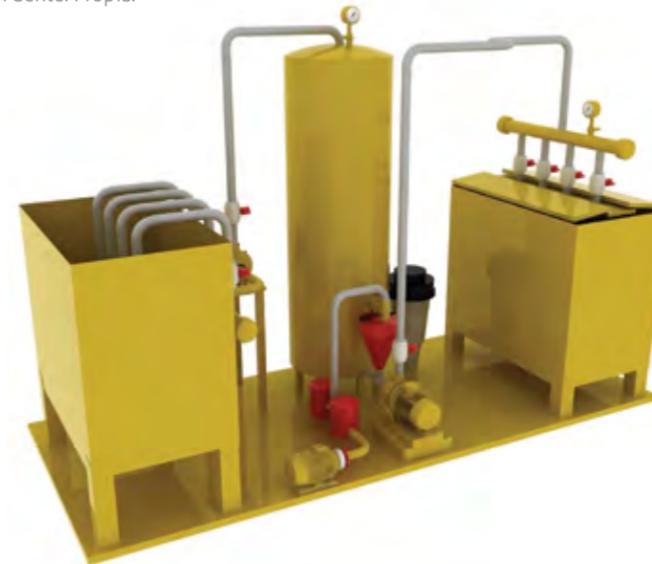
El zinc puede corroerse por mecanismos que involucren la reducción del agua y el oxígeno:



En la práctica se debe adicionar zinc entre 5 y 10 veces más que los requerimientos estequiométricos. Asimismo, la presencia de oxígeno disuelto puede provocar la redisolución del oro ya precipitado, por lo que se debe garantizar una condición de vacío para evitarlo; esto es posible utilizando el sistema Merrill Crowe:



Fotografía 16: Modelo de planta de Merrill Crowe.
Fuente: Propia.

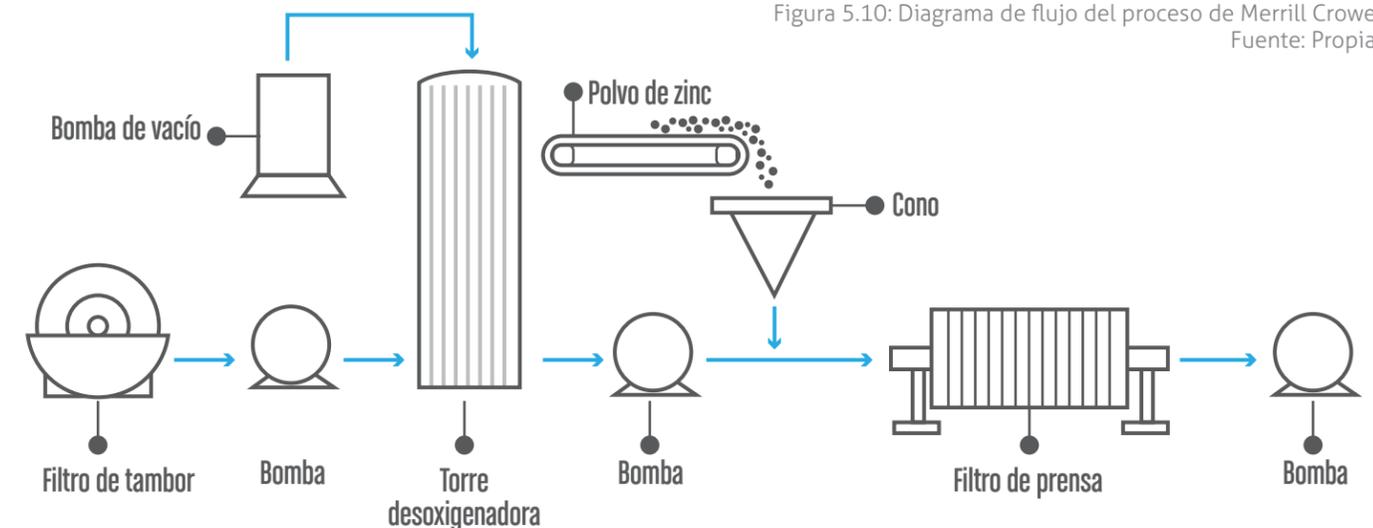


En las condiciones que se aplican típicamente a la industria se ha encontrado que la transferencia de masa es el paso determinante para el proceso de precipitación. Por ello es fundamental que el zinc presente una extensa y limpia superficie de reacción (se recomienda el zinc en polvo).

La presencia de material particulado fino suspendido en la solución, en especial arcillas y silicatos coloidales, reducen la eficiencia de la precipitación, posiblemente por cubrir la superficie del zinc, por lo que se debe garantizar un perfecto filtrado de la solución rica.

Es muy conocido el efecto benéfico de los iones de plomo en la precipitación a baja temperatura, debido a sus efectos electroquímicos. Concentraciones de Pb²⁺ de 0,01 g/l ejercen un buen efecto para soluciones de 1 a 10g/t de oro, y debe cuidarse de no estar por debajo de este valor. Excesos de 0,06 a 0,1g/l de plomo divalente perjudican el proceso. Otros iones metálicos divalentes como Hg, Th Bi, Cd y Cu, en concentraciones muy bajas, han mostrado efectos similares al del plomo.

Figura 5.10: Diagrama de flujo del proceso de Merrill Crowe.
Fuente: Propia.



5.1.8. FUNDICIÓN

El objetivo de esta operación es procesar los cementos (precipitados de cianuración) de metales preciosos para obtener barras (lingotes) comerciales de oro en alta pureza, mediante la determinación de una carga de fundentes apropiada, aplicando las normas de seguridad necesarias.

Los principales métodos de tratamiento de los precipitados para alcanzar metales preciosos son los siguientes:

- **Fundición directa.**
- **Fundición después de calcinación.**
- **Tratamiento ácido seguido de fundición.**

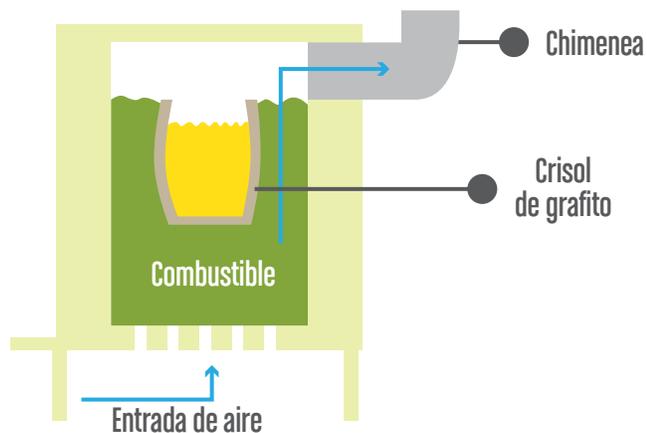
FUNDICIÓN DIRECTA

La fundición directa de precipitados de metales preciosos es una técnica rutinaria a gran escala. La desventaja de esta operación pirometalúrgica es que el zinc se volatiliza a alta temperatura ($> 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) y suele arrastrar consigo algo de oro, produciendo pérdidas que pueden variar entre el 1 % y el 5 %.

Las cargas de fundición varían dependiendo de las características de los precipitados; estas se logran partiendo de ensayos de laboratorio preliminares realizados a una muestra del precipitado, y se establecen las cantidades de los reactivos a utilizar. Entre los más comunes se encuentran:

- Carbonato de sodio.
- Bórax.
- Sílice.
- Nitrato de potasio.

Las respectivas cargas se homogenizan, se llevan a crisoles de grafito y se recubren con una capa de bórax. Posteriormente los crisoles cargados se introducen en el horno para efectuar la fundición a una temperatura de $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo de 1 a 2 h. La carga se vacía en moldes previamente parafinados para, finalmente, luego del enfriamiento, realizar la separación de la barra de oro de la escoria.



Fotografía 17: Modelo de horno con crisol.
Fuente: Propia.



Figura 5.11: Diagrama de funcionamiento de un horno con crisol.
Fuente: Propia.

RIESGOS	MEDIDAS DE SEGURIDAD
Inhalación de polvos de calizas y fundentes.	Uso de mascarillas para polvo.
Quemaduras con herramientas calientes, moldes y salpicaduras con escoria fundida.	En general, se usan delantales y guantes de asbesto, botas y caretas.
Astillas de escoria sólida y pedazos fluidos de escoria.	Caretas y guantes de asbesto.
Quemaduras con ácido	Debe usarse guantes de caucho, ropa a prueba de ácido, caretas y respiradores.



Vista panorámica de planta de beneficio en Íquira (Huila)
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano

6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES

Los procesos extractivos de oro sin optimización, así como otras actividades de los seres humanos afectan la biodiversidad. Sin embargo, existen metodologías que permiten desarrollar esta actividad bajo control, previniendo causar daño al medio ambiente.

En este marco se plantean metodologías de control químico-ambiental, las cuales incluyen caracterización química, control de procesos de metalúrgicos, descomposición de soluciones residuales cianuradas y determinación de toxicidad de relaves.

6. ASPECTOS QUÍMICO - AMBIENTALES

La implementación de metodologías analíticas y la utilización de la instrumentación en las diferentes líneas de la investigación en una planta de beneficio buscan día a día optimizar los procesos, usar tecnologías mejoradas y resolver los problemas que se presentan en el seguimiento de los procesos con la aplicación de métodos simples, económicos y versátiles, que muestren resultados confiables.

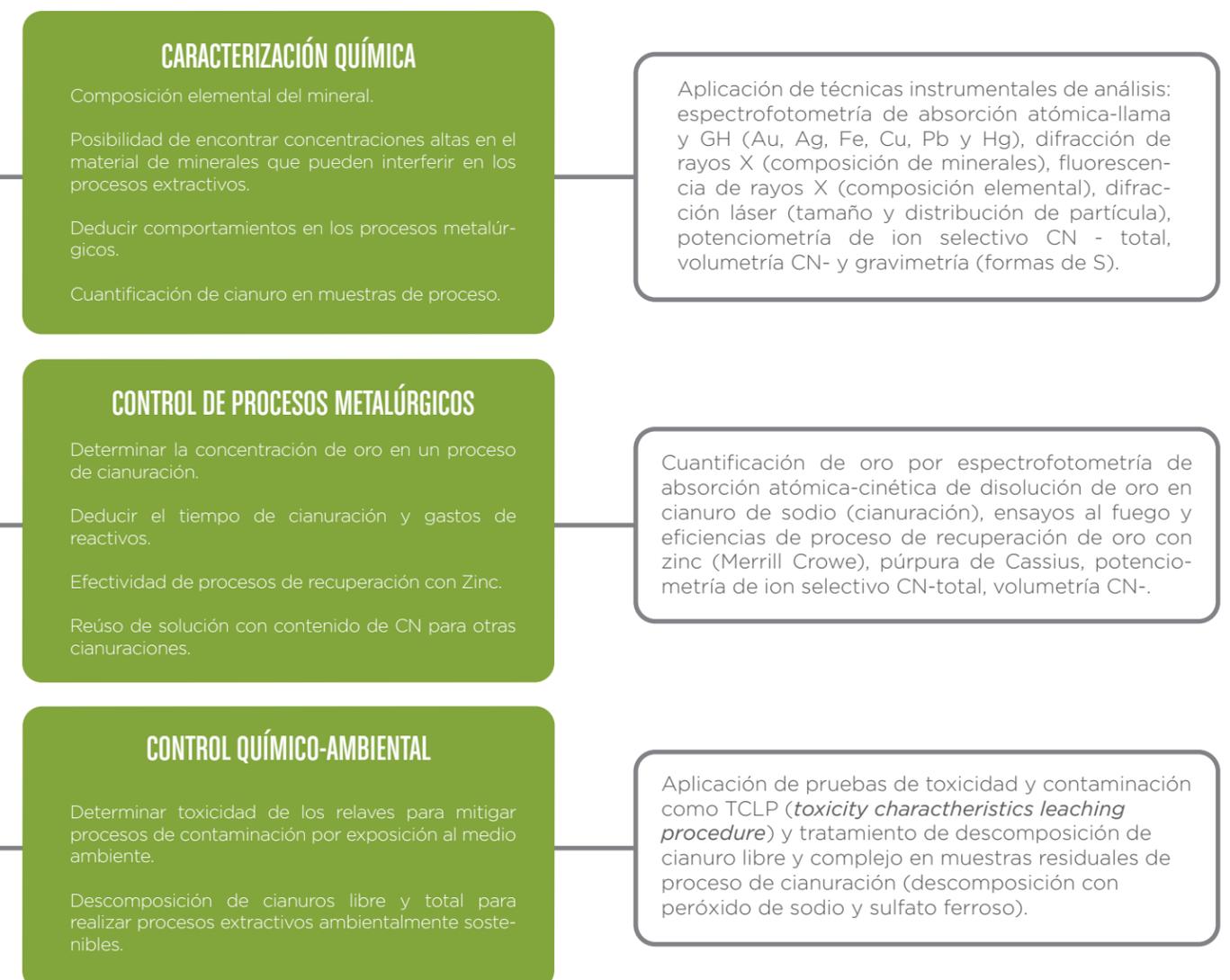
Existen dos tipos de análisis: los cualitativos y los cuantitativos. Cada uno de ellos ofrece unas ventajas instrumentales que permiten evaluar un estudio de interés geológico, los procesos metalúrgicos o la valoración ambiental.

6.1. CONTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS Y QUÍMICO AMBIENTALES

Con los análisis químicos a los materiales de mena, de planta de beneficio y de relaves es posible establecer la siguiente información:

Figura 6.1: Desarrollo de las etapas aplicadas en el control químico ambiental en Íquira (Huila)

Fuente: Propia



6.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS: MÉTODOS Y APLICACIONES QUÍMICO - AMBIENTALES

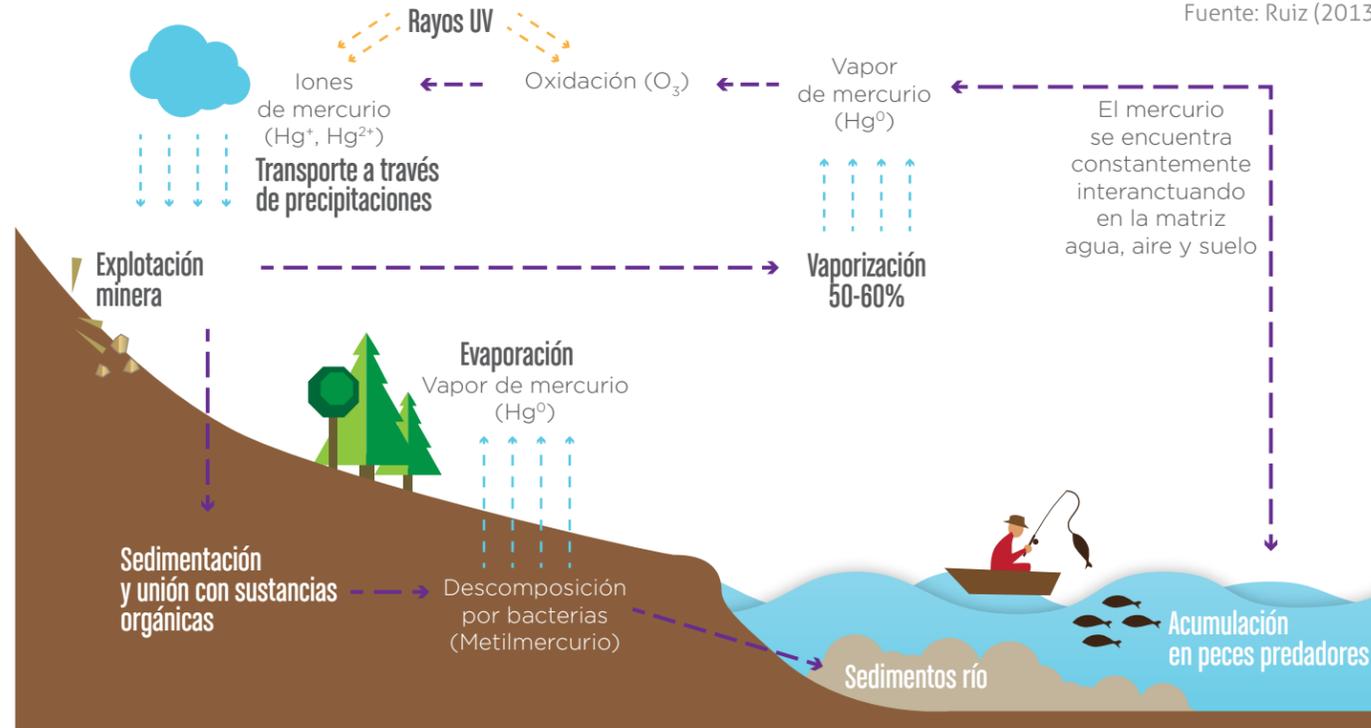
6.2.1 CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN MINERÍA

El mercurio se presenta en la naturaleza en diferentes especies químicas: las de tipo elemental (Hg^0), las de tipo inorgánico (Hg^+ , Hg^{2+}) y las orgánicas. El metilmercurio (HgCH_3) y el dimetilmercurio ($\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$) son las formas orgánicas más tóxicas que afectan al sistema inmunológico, alteran los sistemas genéticos y enzimáticos, y dañan el sistema nervioso, incluyendo la coordinación y los sentidos del tacto, el gusto y la vista. Las principales manifestaciones por intoxicación con mercurio en el organismo humano son los daños al sistema nervioso; daños cerebrales; daño al ADN y a los cromosomas; reacciones alérgicas; cansancio; dolor de cabeza, y defectos de nacimiento y abortos. El mercurio en estado cero es móvil en el ambiente debido a que es ligeramente soluble en el agua ($56 \mu\text{g/L}$), por lo que conduce a la contaminación de las aguas subterráneas y fuentes superficiales, debido a la disposición de colas de procesos de amalgamación.

No todos los acuíferos resultan con concentraciones extremas de mercurio (Barringer et al., 2005). Sin embargo, un estudio determinó que en una mina de oro y plata, el mercurio de las colas de proceso se lixivió y contaminó las aguas subterráneas alcanzando concentraciones hasta de $15 \mu\text{g/L}$ (Foucher et al., 2012). Otro riesgo es la práctica de cianuración de arenas previamente usadas en amalgamación, donde el cianuro forma con el mercurio complejos estables, solubles y difíciles de remover ($\text{Hg}(\text{CN})_2$ y $\text{Hg}(\text{CN})_4$). La lixiviación de complejos cianuro-mercurio (usualmente en forma Hg^{2+}), incrementa la concentración de mercurio en las aguas subterráneas (Coles y Cochrane, 2006).

6.2.1.1 CICLO DE MERCURIO

Figura 6.2: Ciclo dinámico del mercurio en el medio ambiente. Fuente: Ruiz (2013).



La figura 6.2, muestra el ciclo biogeoquímico del mercurio. Se aprecia que los compuestos orgánicos, especialmente el metilmercurio, pueden entrar en los organismos a partir de la biota acuática donde se bioacumula y posteriormente concentrarse en la cadena alimenticia (Programa de las Naciones Unidas y Ministerio del Medio Ambiente, 2012).

El mercurio se presenta naturalmente en una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos, no solo en estado sólido sino también disuelto en agua y excepcionalmente en la atmósfera, debido a su alta presión de vapor. La transición de mercurio entre esos compuestos y fases es controlada por una multitud de procesos ambientales, que incluyen reacciones fotoquímicas, oxidación y reducción química, transformaciones microbianas, etc.

6.2.2. USO DEL MERCURIO Y SU NORMATIVIDAD EN COLOMBIA

El marco jurídico colombiano relacionado con el proceso de minería de oro sigue la jerarquía normativa existente, donde está la primacía de la norma constitucional, en segundo lugar las leyes y por último los reglamentos o decretos, dados no solo desde el ámbito nacional sino también regional y local.

Directamente relacionada con el manejo del mercurio la Ley 1658 del 2013 desarrolla el marco legal "Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones". Los ministerios de Minas y Energía; Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible; Salud y Protección Social; Trabajo; Agricultura y Desarrollo Rural; Transporte y Comercio, e Industria y Turismo, formularon el Plan Único Nacional de Mercurio (Ministerio de Medio Ambiente, 2014) y deberán realizar reglamentos técnicos sobre el tema.

La ley establece incentivos focalizados en el sector minero, buscando la eliminación del uso del mercurio. Cabe resaltar que los dueños de las plantas de beneficio de oro y los pequeños mineros auríferos podrán solicitar créditos blandos al Banco Agrario, al Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro) o a otra agencia del Estado especializada, para la reducción y eliminación del uso del mercurio o para la reubicación o traslado de dichas plantas a zonas compatibles con los planes de ordenamiento territorial (POT) existentes.

De igual manera, la Ley 1658 hace referencia a las denominadas "alternativas limpias". En este punto, Colciencias fomentará la realización de investigaciones de tecnologías limpias para la reducción y la eliminación del mercurio en los diferentes procesos para obtener el metal precioso. Los ministerios de Minas y Energía; Comercio, Industria y Turismo; Educación y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) promoverán y desarrollarán, en el marco de sus competencias, la realización de programas de formación, capacitación, fortalecimiento empresarial y asistencia técnica, para la inserción de las tecnologías limpias en los procesos de beneficio de oro y demás procesos industriales y productivos asociados que requieren la utilización del mercurio (Congreso de la República, 2013).

6.2.3. ANÁLISIS QUÍMICOS APLICADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS METALÚRGICOS Y AMBIENTALES

Para la caracterización química de un mineral se requiere la aplicación de metodologías analíticas para cualificar y cuantificar los diferentes materiales, bien sean muestras geológicas, como material de veta en estado sólido, o muestras líquidas provenientes de los diferentes procesos metalúrgicos. De esta manera, se interactúa y se apoya en la investigación con las áreas de metalurgia y mineralogía.

En este contexto, se ha incluido la evaluación de las operaciones y procesos aplicados en la zona para beneficiar y extraer el oro del material, con el propósito de aportar información y conocimiento para un mejor aprovechamiento del recurso y para controlar el impacto ambiental generado en las plantas de beneficio. En particular, se busca proponer alternativas metalúrgicas para sustituir la amalgamación y evitar así el uso del mercurio, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental del proceso.

6.2.3.1. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Para realizar la determinación de metales (Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Mg, Mn, Mo, etc.) por absorción atómica de llama es necesario tener los analitos en solución y libres de posibles interferentes, como materia orgánica o particulado. Para lograr estas condiciones, y con el objeto de reducir la interferencia por materia orgánica y liberar los metales de la matriz manteniéndolos en solución, es necesario el tratamiento previo de las muestras y se debe realizar el procedimiento de preparación, digestión y preservación. Estos tratamientos se realizan según el tipo de matriz.

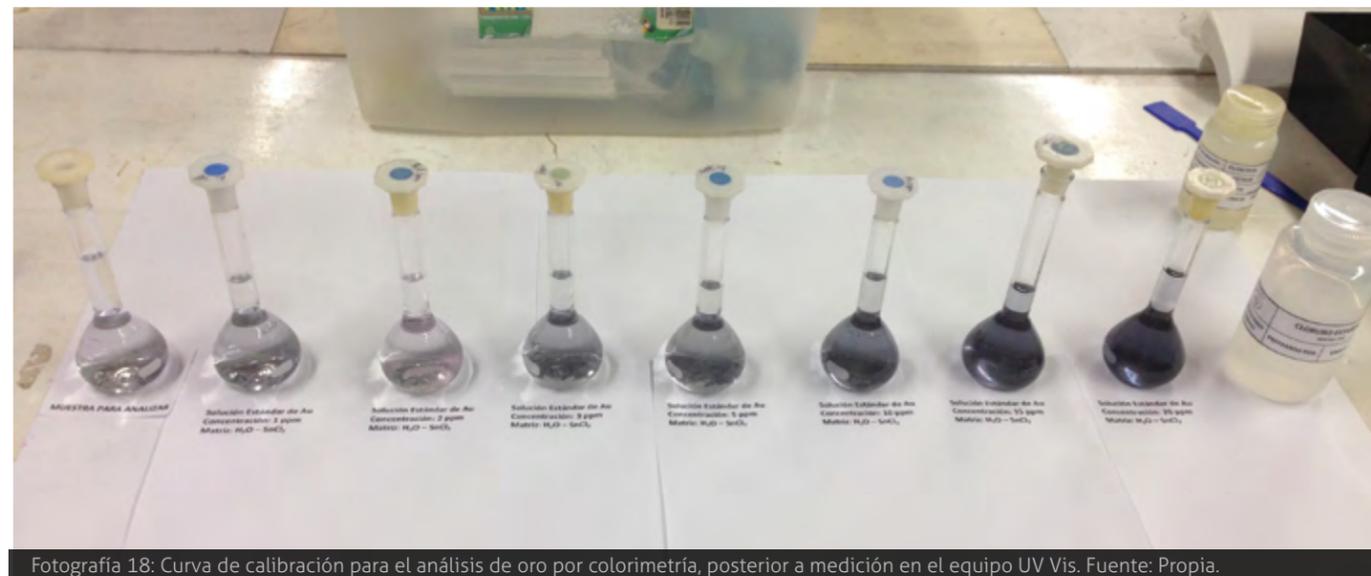
El mercurio también es medido con esta técnica, pero se realiza en ausencia de llama debido a su fácil volatilidad. Esta metodología se denomina absorción atómica-generación de hidruros (vapor frío).

Por lo general las muestras provienen de diversos orígenes, siendo las más frecuentes las muestras de aguas, efluentes, rocas, suelos, etc.; como todas las matrices varían, son diferentes en su composición intrínseca y en su respuesta al tratamiento previo de adecuación a la medición por llama.

6.2.3.2. ESPECTROFOTOMETRÍA DE ULTRAVIOLETA VISIBLE

La determinación de oro por colorimetría es una alternativa de análisis instrumental aplicada en el caso de no contar con espectrofotómetro de absorción atómica (AA). Este método es aplicable en trabajo en campo.

Para la determinación de microcantidades de oro en soluciones cianuradas se realiza la precipitación con zinc para eliminar interferencias. Esta precipitación se lleva a cabo con soluciones cianuradas que contengan una concentración de cianuro mayor que o igual a 1 g/l, y que se encuentren a valores de pH mayores de 11 unidades. El precipitado formado se disuelve y se desarrolla el color, usando el método de cloruro estañoso. Este reactivo permite cuantificar oro en soluciones, usando la prueba del método púrpura de Cassius.



Fotografía 18: Curva de calibración para el análisis de oro por colorimetría, posterior a medición en el equipo UV Vis. Fuente: Propia.

6.2.3.3. POTENCIOMETRÍA DEL ION CIANURO

Para determinar la cantidad de cianuro que se encuentra presente en una solución de proceso o solución final para desecharla, es necesario aplicar metodologías instrumentales que combinan destilación y potenciometría.

La siguiente ecuación engloba la reacción de la cianuración y el compuesto que se analiza:



Estas técnicas se emplean específicamente en procesos de cianuración de oro en las que se obtienen soluciones ricas en dicho metal, y cuando es necesario conocer sus concentraciones para controlar algunos aspectos del proceso de recuperación de oro en procesos de precipitación con zinc, como las velocidades de disolución del oro, el consumo de cianuro, cal y oxígeno. Este análisis genera la información con la que se puede evaluar en general la cinética de reacción, los porcentajes de recuperación y la efectividad de la lixiviación.

Una de estas metodologías es la descomposición de cianuro total a libre, la cual se realiza mediante el método de electrodo de ion selectivo integrado a un analizador de cianuro, la cual se fundamenta en la destilación de la solución de cianuro mediante enfriamiento de aire; el ácido cianhídrico (HCN) producido durante la reacción es condensado y absorbido por burbujeo en una solución de hidróxido de sodio (NaOH 0,1 N), e inmediatamente es detectado y leído usando el electrodo de ion selectivo para cianuro. El análisis permite determinar cianuro total en cualquier tipo de soluciones, con un rango de detección desde 5 ppb a 260 ppm. Puede ser aplicado para análisis de aguas residuales, aguas procedentes de procesos metalúrgicos y actividad minera.

En la determinación de cianuro en una solución se tienen en cuenta las siguientes etapas: la primera consiste en una titulación de cianuro libre, luego la medición de cianuro total (equipo cianómetro o equipo de destilación), y finalmente la interpretación del resultado, como se observa en la figura 6.3.

Figura 6.3: Determinación de cianuro total en una solución residual. Fuente: Propia.



6.2.4. TRATAMIENTOS PARA DESCOMPOSICIÓN DE CIANURO: FORMAS LIBRE Y COMPLEJO

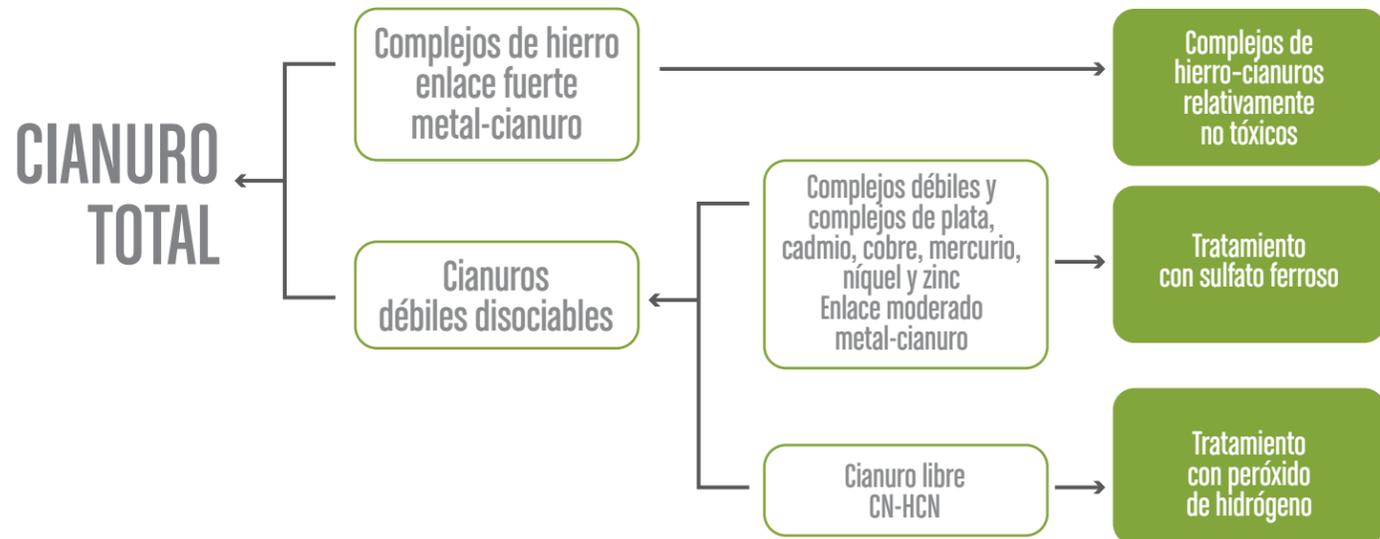
6.2.4.1. EL CIANURO Y SUS FORMAS

El cianuro de sodio es ampliamente utilizado en la extracción de oro. Cuando se encuentra en solución y es adicionado un material de mina, este reacciona con los metales presentes y puede manifestarse en diferentes formas químicas, con mayor o menor afinidad. La figura 5 presenta las formas de cianuro y relaciona los métodos de descomposición aplicados en este documento guía para lograr el entendimiento de las especies formadas cuando se realiza una cianuración de oro.

Para la determinación de cianuro total es importante conocer primero las posibles formas de cianuro que se encuentran en las soluciones residuales de procesos metalúrgicos.

Si no se cuenta con un cianurómetro, este puede ser reemplazado por un equipo de destilación, y la determinación final se realizaría por titulación de cianuro libre.

Valor máximo permitido:
CN⁻ TOTAL = 1 mg/L Resolución 0631 de 2015

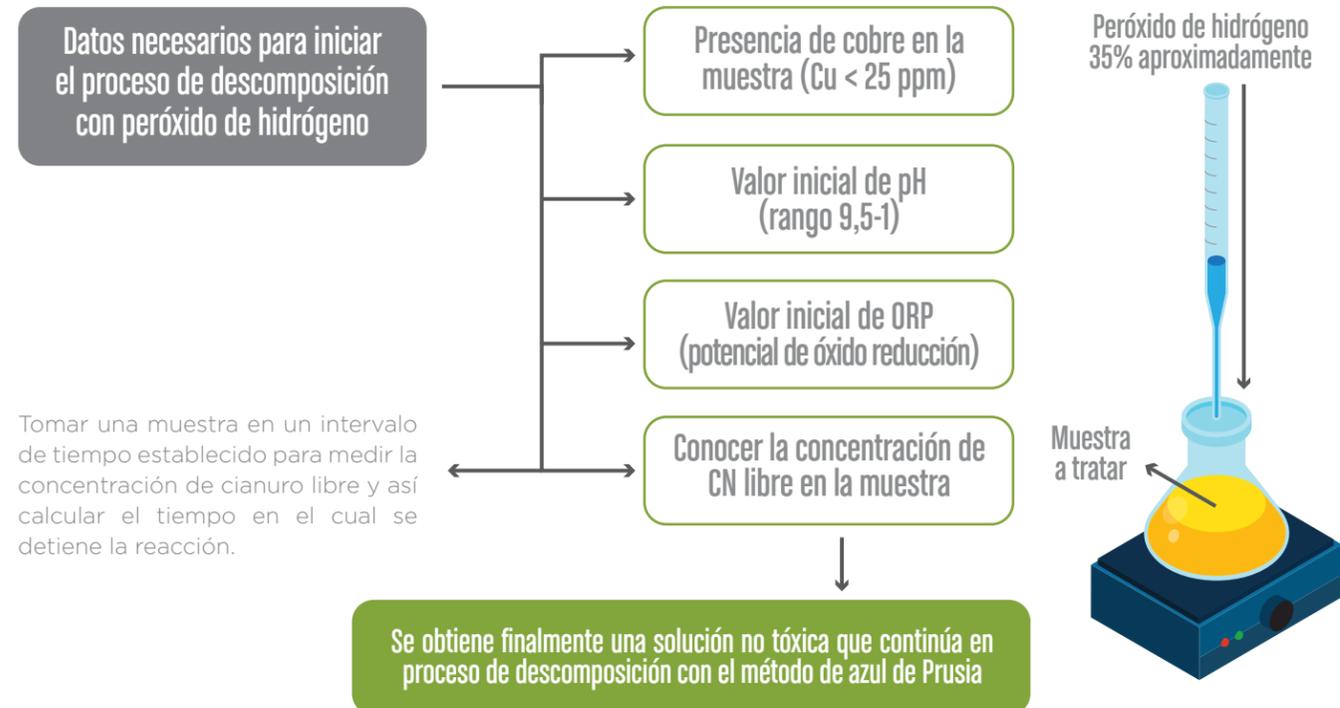


6.2.4.2. TRATAMIENTOS DE DESCOMPOSICIÓN: USO DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y SULFATO FERROSO Y PRUEBA DE CONTROL AMBIENTAL

De acuerdo con lo anterior, existen dos formas principales de cianuro: libre y compleja. Para el material de Andes se desarrollaron dos tratamientos para cada forma donde se evidenció, mediante prácticas con los mineros en el laboratorio y en la planta piloto del grupo de trabajo Cali, la descomposición de cianuro en formas amigables con el medio ambiente. Para descomponer el cianuro libre se utiliza el método de descomposición con peróxido de hidrógeno al 35 %, que en ocasiones se encuentra en el mercado concentraciones mayores, las cuales pueden utilizarse de acuerdo con el cálculo de reacción. El diagrama 6.4. evidencia los parámetros físico-químicos a tener en cuenta en el proceso y los equipos requeridos.

Figura 6.4: Tratamiento método peróxido de hidrógeno-descomposición cianuro libre. Fuente: Propia

MÉTODO PARA DESCOMPONER EL CIANURO LIBRE PRESENTE EN LA SOLUCIÓN POBRE.



Tomar una muestra en un intervalo de tiempo establecido para medir la concentración de cianuro libre y así calcular el tiempo en el cual se detiene la reacción.

- **Cálculo para la dosificación de peróxido**
Los valores necesarios para realizar el cálculo son:
 1. Concentración de cianuro libre.
 2. Volumen a tratar de muestra en mL.
 3. Concentración de peróxido: ficha técnica del insumo o titulación con permanganato de potasio y ácido sulfúrico.
 4. Densidad del peróxido a la concentración y temperatura usada.

Los reactivos usados son de grado comercial.

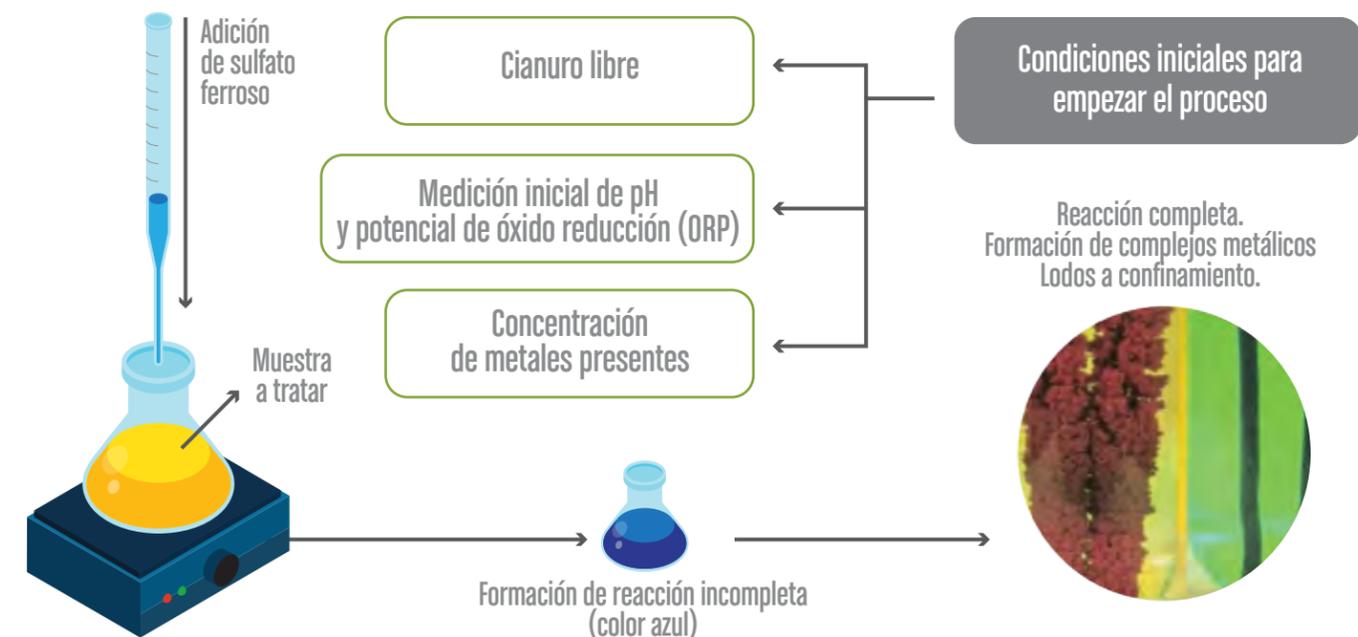
Es importante hacer ensayos en pequeña escala antes de realizar las descomposiciones de cianuro libre y complejo.

Convertir a peso de CN:
 $X = \text{Cualquier cantidad} / \text{NaCN} = \text{cianuro de sodio} / \text{CN} = \text{cianuro}$
 $(X \text{ mg NaCN/L}) * (1/1000 \text{ mg}) * (1 \text{ mol de NaCN}/49,00\text{g NaCN}) * (1 \text{ mol CN}^-/1 \text{ mol NaCN}) * (26,02 \text{ g CN}^-/1 \text{ mol de CN}^-) = \text{g de CN}^-/\text{L}$

Fórmula para el consumo de peróxido, relación 5 a 8 veces:
 $X \text{ g CN}^-/\text{L} * \text{Volumen de muestra a tratar} * 5 = \text{g de H}_2\text{O}_2$
 $(\text{g de H}_2\text{O}_2/0,35) / 1 \text{ mL}/1,19\text{g H}_2\text{O}_2 = \text{volumen en mL a gastar de H}_2\text{O}_2$

La metodología del azul de Prusia es el proceso final para completar la descomposición de todos los complejos metálicos transformándolos a compuestos más estables y que no generen impacto negativo en el ambiente. El material (lodo) producto de este proceso es llevado a confinamiento.

Figura 6.5: Tratamiento método azul de Prusia. Fuente: Propia.



- **Cálculo para la dosificación del sulfato ferroso (FeSO₄.7H₂O).**
Los valores necesarios para realizar el cálculo son:
 1. Concentración de cianuro libre no detectable (Rango de trabajo ácido formación de HCN si la Rx continua).
 2. Concentración de cianuro total: Destilación y titulación o Cianurómetro (Complejo).
 3. Volumen a tratar de muestra en mL para escalar y en litros en planta.
 4. Concentración de sulfato ferroso: 33%.

Convertir a moles de CN:
 $X = \text{Cualquier cantidad} / \text{NaCN} = \text{cianuro de sodio} / \text{CN} = \text{cianuro}$
 $(X \text{ mg NaCN/L}) * (1/1000 \text{ mg}) * (1 \text{ mol de NaCN}/49,00 \text{ g NaCN}) * (1 \text{ mol CN}^-/1 \text{ mol NaCN}) = \text{moles de CN}^-/\text{L}$

Fórmula para el consumo de sulfato ferroso, relación 0,5 a 5 veces:
 $X \text{ moles CN}^-/\text{L} * \text{Volumen de muestra a tratar} * 0,5 \text{ o } 5 = \text{moles de FeSO}_4.7\text{H}_2\text{O}$
 $(\text{Moles de FeSO}_4.7\text{H}_2\text{O} * 278,05\text{g FeSO}_4/1\text{mol FeSO}_4 * \text{Concentración de FeSO}_4.7\text{H}_2\text{O} = \text{Volumen a necesitar de FeSO}_4.7\text{H}_2\text{O al 33\%}$

• CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS ETAPAS DE DESCOMPOSICIÓN

La concentración de cianuro total puede disminuir en el transcurso del tiempo y llegar al valor mínimo o no detectable. Los colores de estas reacciones que se llevaron a cabo fueron azul, verde y marrón, típicos de la precipitación de cianuro.

En carencia de hierro se puede formar azul de Prusia soluble que luego se convierte en hexacianoferrroso soluble. Al final de la coagulación-floculación se obtiene un color azul, lo que indica que el tratamiento es incompleto. La solución final se torna marrón.



• PRUEBA DE CONTROL AMBIENTAL A CANCHAS DE RELAVES (Toxicity Characteristics Leaching Procedure)

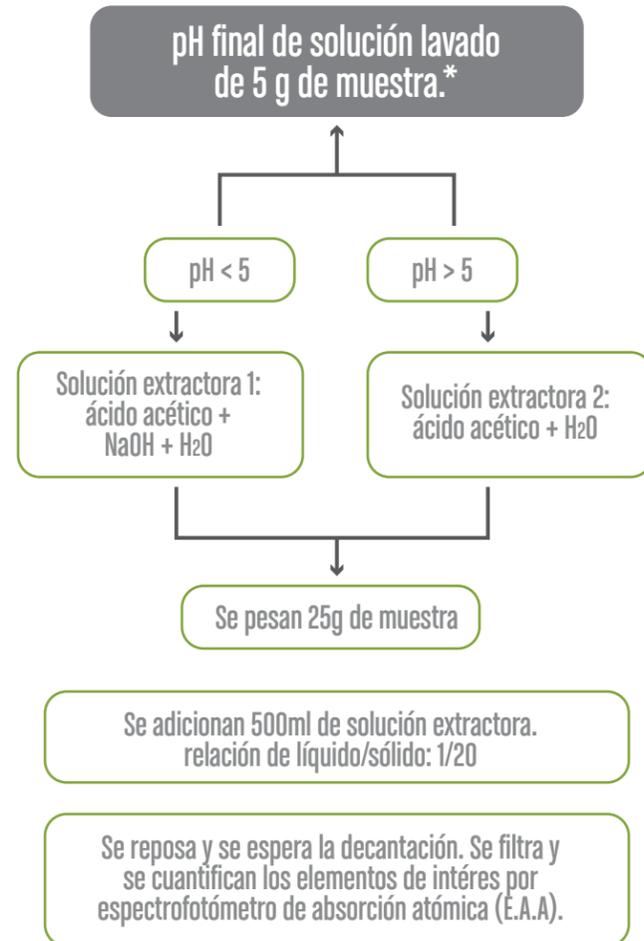
El análisis de TCLP es una prueba de lixiviación que mide la liberación de contaminantes en un residuo sólido cuando entra en contacto con fases líquidas. Hace parte de las pruebas de interés para residuos de beneficio de minerales auríferos junto con las pruebas de reactividad de cianuros y sulfuros.

Esta prueba clasifica si el residuo es peligroso o no, por lo que no aplican los valores de descarga para residuos industriales líquidos; se usan los límites asociados a concentraciones máximas que se pueden lixiviar de las muestras y esto depende de cada metal. Estos valores máximos se muestran en la siguiente tabla.

ELEMENTO	PERMISIBLE EN EL LIXIVIADO*
Arsénico (As)	5,0
Bario (Ba)	100
Cadmio (Cd)	1,0
Cromo (Cr)	5,0
Plomo (Pb)	5,0
Mercurio (Hg)	0,2
Selenio (Se)	1,0
Plata (Ag)	5,0

*Concentraciones máximas de contaminantes para la prueba TCLP-Decreto 4741 de 2005.

Figura 6.6: Procedimiento para aplicación de la prueba TCLP. Fuente: Propia.



* Adicionar 3,5 mL de HCl 1 M, posteriormente se calienta y agita por 10 min. y se hace la medición de pH.

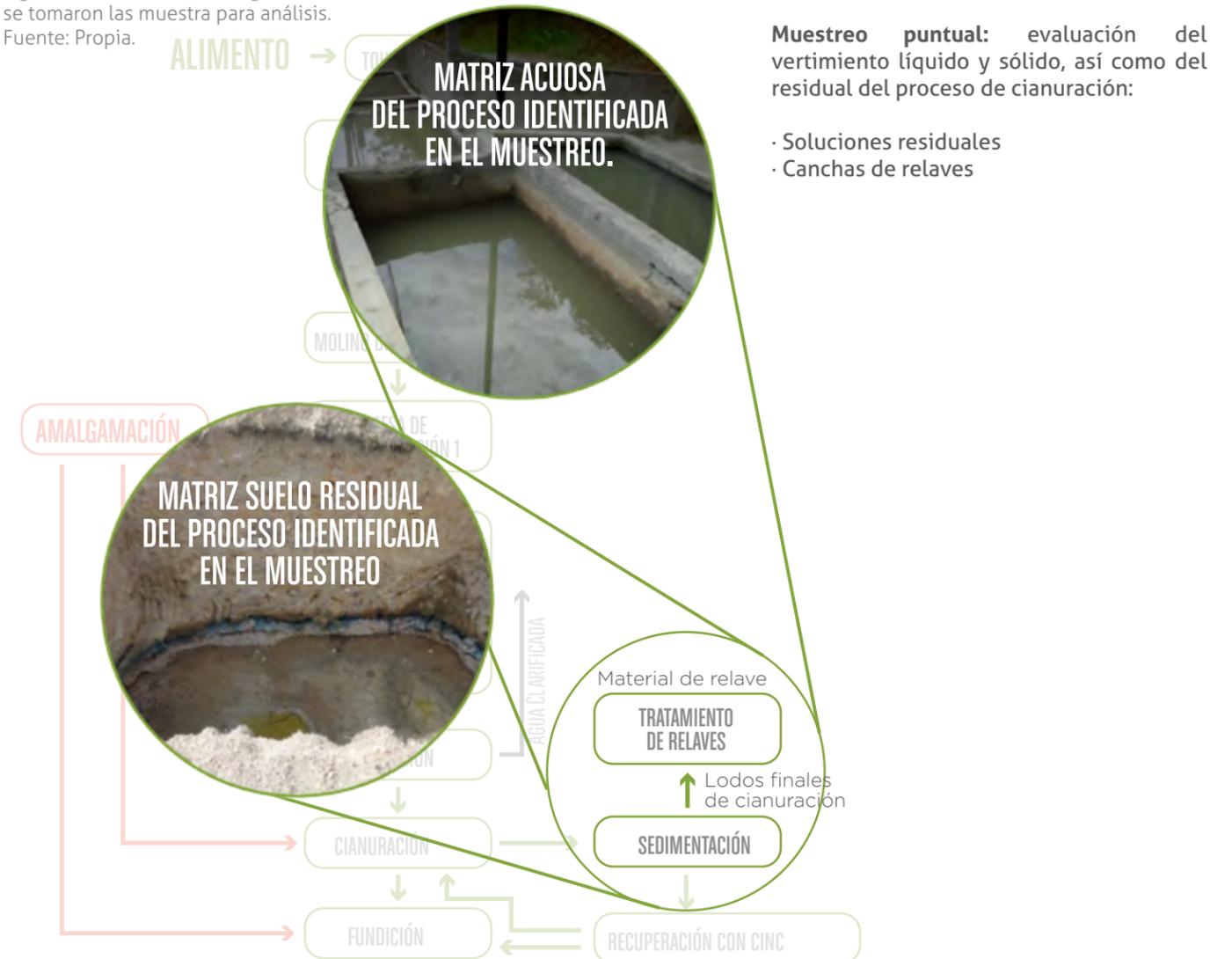
6.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICO - AMBIENTALES DE LA ZONA MINERA

La evaluación se enfocó en el impacto ambiental que genera la metalurgia extractiva de oro en la zona minera de estudio, de acuerdo con la metodología de lixiviación con cianuro aplicada actualmente, la cual conduce a la generación de residuos sólidos y líquidos que contienen cianuro y mercurio, debido a que hay una combinación de los procesos de amalgamación y cianuración para la obtención del metal precioso.

En estos residuos se encuentran especies de cianuro asociadas a metales pesados procedentes de sulfuros polimetálicos y compuestos intermedios de oxidación como sulfatos del grupo de la jarosita e hidróxidos de Fe, Pb, Cu y Zn, identificados como agentes contaminantes, propios de la composición del yacimiento.

6.3.1. PUNTOS CRÍTICOS IDENTIFICADOS EN LAS PLANTAS DE BENEFICIO

Figura 6.6: Ubicación en diagrama donde se tomaron las muestra para análisis. Fuente: Propia.



Muestreo puntual: evaluación del vertimiento líquido y sólido, así como del residual del proceso de cianuración:

- Soluciones residuales
- Canchas de relaves

6.3.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA POR ESPECTROMETRÍA DE RAYOS X (FRX)

Figura 6.7: Resultados obtenidos en materiales de la zona de Íquira por espectrometría de fluorescencia de rayos X
Fuente: Propia.

REFERENCIA	ELEMENTOS MAYORES DETERMINADOS-PORCENTAJE (%)										
	Bal	Pb	Zn	Cu	Fe	Ca	K	Al	Si	S	Mg
Material de cabeza	43,7	0,48	0,07	0,40	8,85	4,77	0,97	3,96	29,91	5,44	1,05
Frente de Mina 1	50,6	0,09	0,06	0,00	2,65	21,2	1,17	3,02	19,3	1,48	< LOD
Material de mina 2	17,8	0,06	0,03	1,64	19,8	0,37	< LOD	1,06	25,5	33,4	< LOD
Frente de Mina 3	42,5	0,13	0,01	1,45	4,55	1,14	0,55	1,72	42,1	5,61	< LOD
Cabeza Cianuración planta 1	42,2	0,26	0,03	0,76	6,29	2,68	1,08	3,80	33,9	7,84	0,56

Bal: Balance **Zn:** Zinc **Fe:** Hierro **K:** Potasio **Si:** Silicio **Mg:** Magnesio
Pb: Plomo **Cu:** Cobre **Ca:** Calcio **Al:** Aluminio **S:** Azufre

Fuente: FRX - modo mineral.

Las propiedades geometalúrgicas del yacimiento indican que se conforma de filones de cuarzo, carbonato y sulfuros polimetálicos, entre los que sobresale esencialmente pirita, con cantidades menores de calcopirita, esfalerita, galena, ricos en oro (ver aspectos geológicos), concordando con la información de caracterización química para materiales de cabeza y frente de mina estudiados, debido a que las concentraciones de Si, S, Cu, Fe, Pb, Zn reflejan valores en porcentajes representativos de cada mineral encontrado. En el frente de mina 3 se obtuvo un 42,1 % de silicio asociado al cuarzo. El contenido de calcio en el frente de mina 1 fue 21,2 %, posiblemente asociado al contenido de carbonatos.

Figura 6.8: Resultados obtenidos en materiales de la zona de Íquira por espectrometría de fluorescencia de rayos X - Elementos menores.
Fuente: Propia.

REFERENCIA	ELEMENTOS MENORES DETERMINADOS-PARTE POR MILLÓN (ppm)								
	Cd	Ag	As	Ni	Co	Mn	Cr	Ti	Au
Material de cabeza	26,8	42,7	152,6	33,4	199,2	847,7	141,6	3688,2	18,2
Frente de Mina 1	< LOD	6,3	42,5	< LOD	< LOD	1480,9	< LOD	2671,5	< LOD
Material de mina 2	24,7	118,1	618,5	< LOD	756,5	146,6	141,4	< LOD	145,9
Frente de Mina 3	13,4	31,0	33,9	< LOD	116,9	189,8	< LOD	1613,4	9,09
Cabeza Cianuración planta 1	33,7	57,1	137,8	< LOD	< LOD	414,3	< LOD	4306,7	13,6

Cd: Cadmio **As:** Arsenico **Co:** Cobalto **Cr:** Cromo **Au:** Oro
Ag: Plata **Ni:** Niquel **Mn:** Manganeseo **Ti:** Titanio

Fuente: FRX - modo suelo.

La tabla anterior contiene los elementos en cantidades de partes por millón (ppm), y los valores encontrados para plata (Ag) y oro (Au) fueron verificados aplicando la metodología de ensayo al fuego. La concentración de arsénico (As) para el material de mina evidencia la presencia de arsenopirita en el mineral de estudio.

6.3.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (AA)

Figura 6.9: Oro por ensayo al fuego y azufre por gravimetría.
ASS-Llama - Fuente: SGC, (2016).

REFERENCIA	Au (g/t)	Ag (g/t)	S %	Fe %	Cu %
Salida de trituradora de mandíbulas	32,05	77,00	5,63	5,92	0,28
Frente de mina	1,89	0,47	2,44	2,86	0,0024
Concentrado de mesa sin Hg	144,11	270,57	26,78	25,74	1,56
Material tunel 1	186,30	130,31	25,48	25,70	0,90
Material de veta	52,29	76,25	4,14	5,70	1,40
Concentrado mesa 2	105,96	150,24	8,90	8,72	1,03
Concentrado mesa 1	167,38	271,49	17,91	16,26	1,21
Lodos cianuración	3,66	32,99	8,53	No medido	No medido

Au: Oro **S:** Azufre **Cu:** Cobre
Ag: Plata **Fe:** Hierro

ASS-Llama y GH- Fuente: SGC, (2016).

REFERENCIA	Au (mg/L o ppm)	Ag (mg/L o ppm)	Fe %	Cu %	Hg ppb	Cianuro libre (g/L)	Cianuro total (g/L)
Final de proceso de cianuración	2,96	0,73	0,30	0,12	680,3	1,00	17,60
Solución rica	2,68	14,33	0,01	0,20	2470,8	2,50	16,00
Líquida de relaves	2,05	10,49	0,01	0,15	6954,5	2,00	8,40

Au: Oro **Hg:** Mercurio **Cu:** Cobre
Ag: Plata **Fe:** Hierro

La evaluación se enfocó en el impacto ambiental que genera la metalurgia extractiva de oro en la zona minera de estudio, de acuerdo con la metodología de lixiviación con cianuro, aplicada actualmente, la cual conduce a la generación de residuos sólidos y líquidos que contienen cianuro y mercurio, debido a que hay una combinación de los procesos de amalgamación y cianuración para la obtención del metal precioso.

Se evaluó el contenido de mercurio para las muestras líquidas finales del proceso de cianuración en una planta, el cual arrojó una concentración de 6954,46 µg/l y para otra planta fue de 680,28 µg/l. Las concentraciones de cianuro libre fueron de 1000 y 2000 mg/l respectivamente. El cianuro total presentó valores de 17.600 y 8400 mg/l.

6.3.4. DETERMINACIÓN DE PELIGROSIDAD

La selección de muestras sólidas para la determinación de agentes contaminantes se hizo en las colas de procesos metalúrgicos depositadas en los patios de relaves, las cuales se tomaron aplicando el método de muestreo en

pilas. En estas muestras se evaluó la peligrosidad de los sólidos desarrollando el método de lixiviación TCLP. (Toxicity Characteristics Leaching Procedure).

Figura 6.10: Concentración de elementos en prueba de toxicidad. ASS-Llama y GH- Fuente: GLQ-001-2016. SGC, (2016).

ELEMENTOS LIXIVIADOS MEDIANTE LIXIVIACIÓN POR T.C.L.P.							
REFERENCIA	Ag	Pb	Cd	Se	Cr	Hg	As
Colas Final Planta 1	N.D.	9,94	0,05	N.D.	0,04	N.D.	N.D.
Colas Final de Proceso 2	N.D.	2,74	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Patio de Relaves	N.D.	24,85	0,01	N.D.	0,02	N.D.	N.D.

Ag: Plata **Cd:** Cadmio **Cr:** Cromo **As:** Arsenico
Pb: Plomo **Se:** Selenio **Hg:** Mercurio **N.D.:** No detectado

- Los depósitos de relaves analizados mediante la prueba de peligrosidad TCLP no generan toxicidad por mercurio, cadmio, cromo, plata, selenio y arsénico. Solo se obtuvo una concentración por encima de la norma para el ion plomo 24,85 mg/l y 9,94 mg/l para las muestras provenientes del patio de relaves estudiadas (galena).
- Análisis de difracción de rayos X a precipitados provenientes de las colas de relaves indican la presencia de sulfatos de plomo, hierro y calcio (lanarkita, jarosita y yeso), y óxidos e hidróxidos de hierro (hematita) como minerales neoformados durante el proceso de beneficio, en una matriz de cuarzo, calcita y pirita proveniente de la mena. Se asocia directamente el contenido de plomo (Pb) lixiviado a la composición mineralógica del material (1,11 % de galena).
- En estos residuos se encuentran especies de cianuro asociadas a metales pesados procedentes de sulfuros polimetálicos y compuestos intermedios de oxidación, como sulfatos del grupo de la jarosita e hidróxidos de Fe, Pb, Cu y Zn, identificados como agentes contaminantes, propios de la composición del yacimiento.

6.3.4.1. TRATAMIENTO PARA LA DESCOMPOSICIÓN DE CIANURO

Se evaluó la descomposición del cianuro contenido en las soluciones finales de procesos de beneficio, las cuales presentan especies libres y asociadas con metales lixiviados en el proceso de cianuración. Los tratamientos de descomposición fueron realizados en dos etapas secuenciales, con peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso para cianuro libre y complejo, respectivamente, y se redujeron hasta un 98 % las concentraciones de cianuro.



6.4. CONSIDERACIONES QUÍMICO - AMBIENTALES

- El estudio permitió predecir la posibilidad de encontrar la movilidad de algunos elementos en las aguas drenadas de los patios de relaves. La movilidad se confirmó aplicando metodologías ambientales que permitieron la simulación del proceso a escala laboratorio, reproduciendo las condiciones naturales generadas por el medio ambiente, mediante un estudio de lixiviación para determinar las características de peligrosidad de los residuos (TCLP) y su posterior cuantificación de metales por AA. Para los depósitos de relaves analizados mediante la prueba de peligrosidad TCLP se obtuvo una concentración por encima de la norma para el ion plomo 24,85 mg/l y 9,94 mg/l.

- El contenido de mercurio encontrado en las soluciones de cianuración en las plantas de beneficio evaluadas excede los límites permisibles en muestras para vertimientos residuales industriales, lo que evidencia que el mercurio remanente de la amalgamación reacciona con el cianuro formando un complejo soluble que potencia el poder de migración del mercurio en las corrientes.

- La presencia del carbonato encontrado en los análisis mineralógicos del depósito contribuyen al balance ácido-base (ABA) y generan relaves estables, atenuando la generación de drenajes ácidos de mina, resultantes de la oxidación de los sulfuros metálicos.

- Tanto los complejos de cianuro producidos en el proceso de cianuración, así como el cianuro libre remanente, deben ser neutralizados por medio de un procedimiento de descomposición de dichos compuestos y evitar así ser emitidos al ambiente.

- La cianuración de la cola de amalgamación desarrolla más el poder contaminante del mercurio. El mercurio remanente de la amalgamación reacciona con el cianuro formando un complejo soluble que potencia el poder de migración del mercurio en las corrientes. Esto está pasando con la cianuración en la zona estudiada.

- Las muestras tomadas de sedimentos de las quebradas no reportan presencia de mercurio.

- Se deben caracterizar los lodos obtenidos en estos tratamientos debido a que la descomposición es lenta y no se sabe qué especies pueden estar presentes.

- Los tratamientos de descomposición de cianuro aplicando peróxido de hidrógeno permitió eliminar totalmente el cianuro libre en un primer paso y, finalmente, mediante la adición de sulfato ferroso a la solución final de proceso de eliminación de cianuro libre, se logró estabilizar los analitos con características tóxicas (cianuros complejos).

Vista desde la tolva de gruesos en planta de beneficio Íquira (Huila)
Fotografía tomada por: Wilmar David Montenegro

7. RUTA METALÚRGICA PROPUESTA PARA LA ZONA MINERA

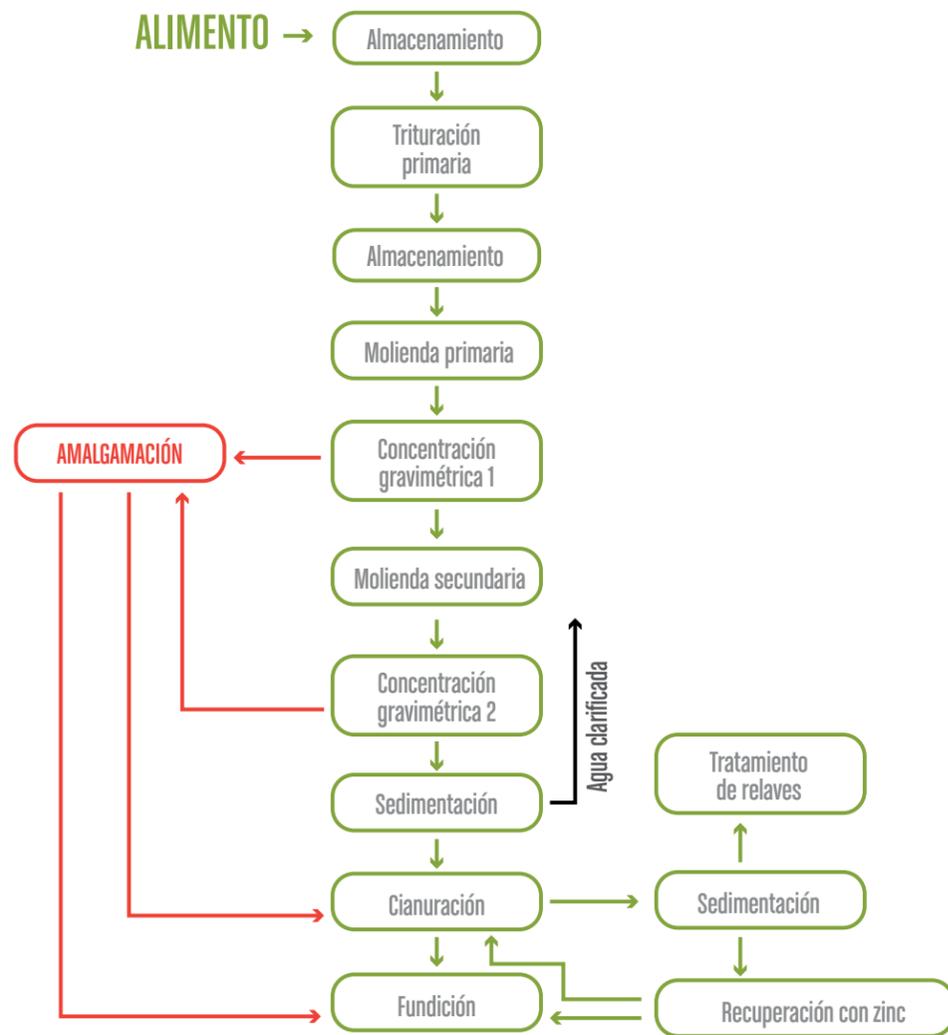
Luego de realizar el recorrido por los aspectos relevantes a tener en cuenta en el proceso de beneficio de oro, en este capítulo se presenta la propuesta de ruta metalúrgica adecuada para aplicar en la zona minera, desarrollada de acuerdo con las características geológicas y mineralógicas, pruebas metalúrgicas y caracterización físico-química de relaves.

7.1. PROCESO DE BENEFICIO DESARROLLADO ACTUALMENTE

Actualmente, en la zona minera de Íquira (Huila) se realiza el proceso de beneficio conservando la amalgamación como el principal procedimiento para la extracción metalúrgica del oro; esta operación es alimentada por los concentrados de las mesas uno y dos.

Entre los desarrollos tecnológicos adelantados se encuentran la cianuración por agitación; el sistema de sedimentación, clarificación y reutilización del agua, y la inclusión de patios de relaves. El método mediante el cual recuperan el oro cianurado es el de saturación con zinc, aunque los mineros disponen de insuficientes instrumentos de medida y análisis para poder tener un control operativo y contable adecuado de sus operaciones.

Figura 7.1: Diagrama de proceso de beneficio actual.
Fuente: Propia.

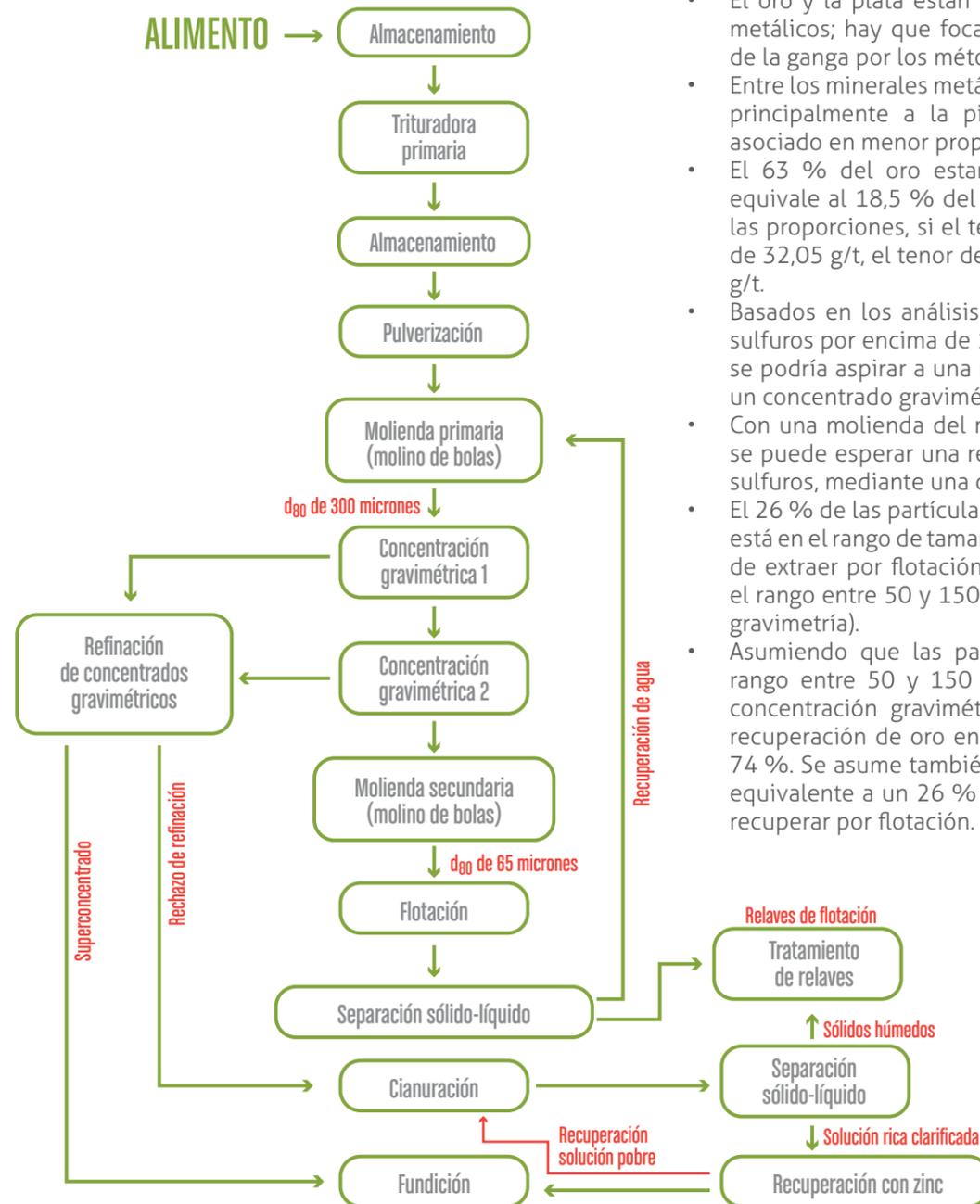


7.2 PROCESO DE BENEFICIO SUGERIDO SEGÚN LA MINERALOGÍA

El diagrama describe el flujo de operaciones y procesos propuesto para el aprovechamiento efectivo y ambientalmente sostenible del material de la zona minera de Íquira. Los criterios para la selección de la ruta metalúrgica planteada se derivan de los conceptos y análisis recibidos de la mineralogía.

Hay que hacer énfasis en la dilución que generalmente sufre el material al ser extraído de la mina. La mezcla del material de mena con roca encajante por los métodos de arranque empleados, diluye la concentración de los minerales de la mena. En consecuencia, los criterios que sustentan la propuesta de la ruta metalúrgica son:

Figura 7.2: Diagrama de proceso de beneficio sugerido.
Fuente: Propia.

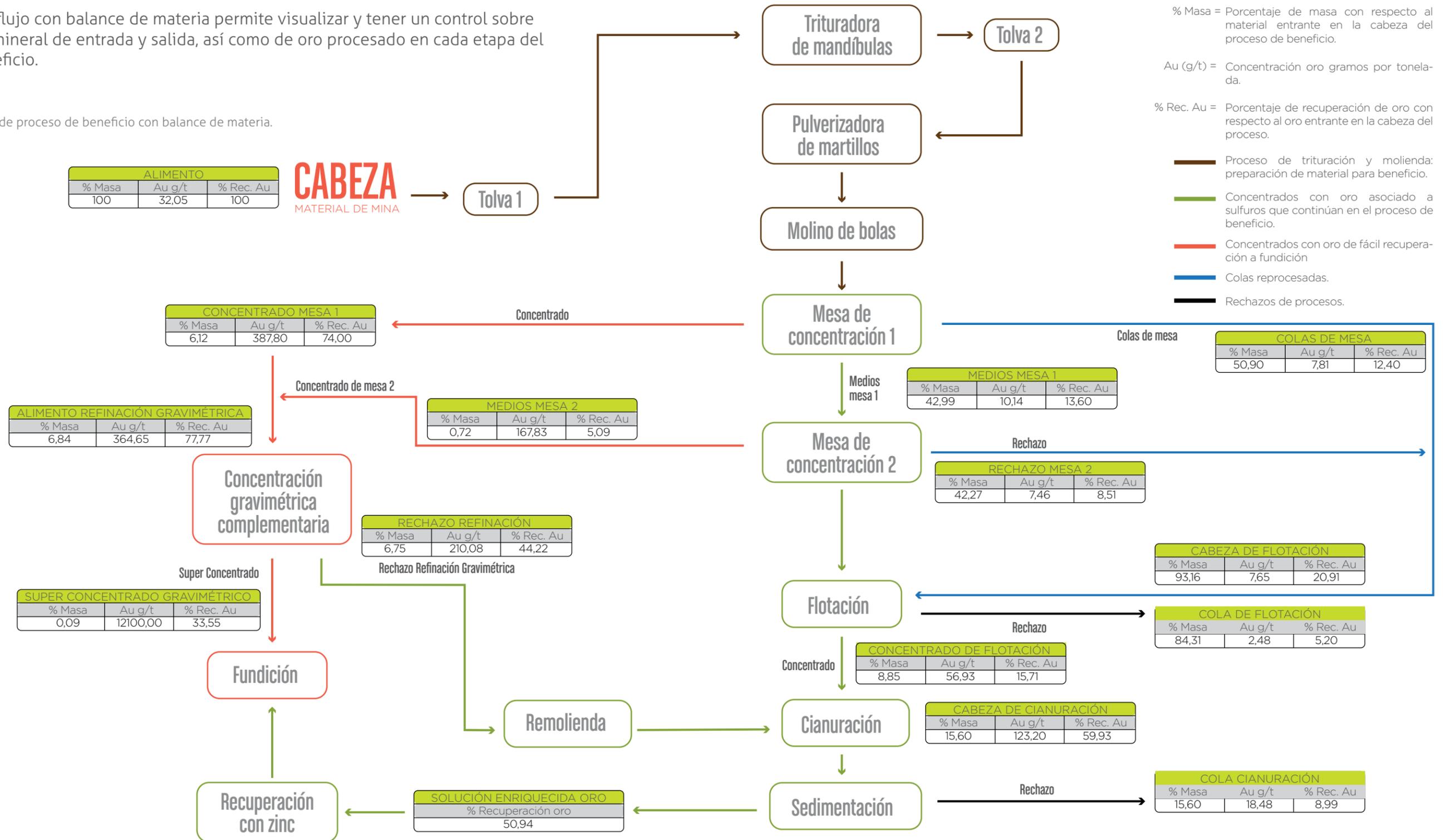


- El análisis de la roca encajante no mostró presencia de oro.
- El oro y la plata están localizados en los minerales metálicos; hay que focalizarse en ellos y separarlos de la ganga por los métodos que correspondan.
- Entre los minerales metálicos el oro aparece asociado principalmente a la pirita. También se encuentra asociado en menor proporción a la calcopirita.
- El 63 % del oro estará asociado a la pirita, que equivale al 18,5 % del total de la masa. Guardando las proporciones, si el tenor de oro en el material es de 32,05 g/t, el tenor de oro de la pirita sería de 104 g/t.
- Basados en los análisis y asumiendo que todos los sulfuros por encima de 150 µm estuvieran liberados, se podría aspirar a una recuperación de un 84 % en un concentrado gravimétrico.
- Con una molienda del material con d80 de 300 µm se puede esperar una recuperación del 63 % de los sulfuros, mediante una concentración gravimétrica.
- El 26 % de las partículas de oro del material de mina está en el rango de tamaño menor a 50 µm (propensas de extraer por flotación). El 74 % de ellas están en el rango entre 50 y 150 µm (propensas a extraer por gravimetría).
- Asumiendo que las partículas de oro libres en el rango entre 50 y 150 µm se recuperan aplicando concentración gravimétrica, se puede esperar una recuperación de oro en el rango entre el 26 % y el 74 %. Se asume también que el oro menor a 50 µm, equivalente a un 26 % aproximadamente, se puede recuperar por flotación.

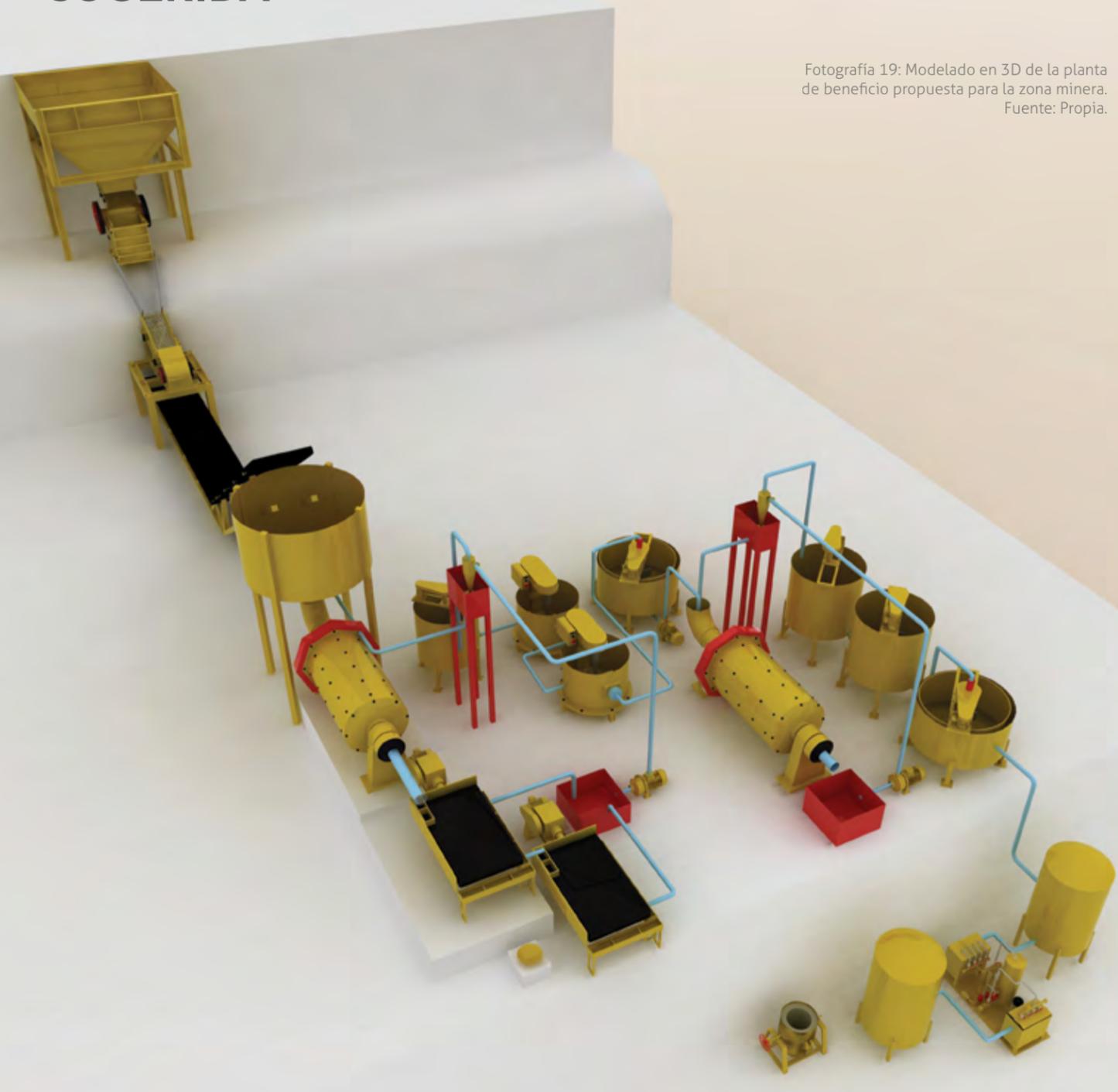
7.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES, PROCESOS Y MASA PARA EL BENEFICIO SUGERIDO

El diagrama de flujo con balance de materia permite visualizar y tener un control sobre la cantidad de mineral de entrada y salida, así como de oro procesado en cada etapa del circuito de beneficio.

Figura 7.3: Diagrama de proceso de beneficio con balance de materia.
Fuente: Propia.



7.4. MONTAJE DE PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA



Fotografía 19: Modelado en 3D de la planta de beneficio propuesta para la zona minera. Fuente: Propia.

El gráfico muestra una aproximación a la configuración de la planta de beneficio que se requiere para seguir los pasos de la ruta metalúrgica sugerida. Además, abarca los equipos que componen la planta de beneficio actual, proponiéndose una adecuación que los incluya.

La inclusión de los nuevos equipos permitirá la eliminación del mercurio, haciendo un proceso ambientalmente sostenible, lo que proporcionará una optimización de los recursos y un mayor aprovechamiento del material, lo cual se traduce en un mayor porcentaje de recuperación de oro.

7.5. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PLANTA DE BENEFICIO SUGERIDA

El siguiente es el diagrama de flujo de la planta de beneficio para la zona minera con sus respectivas líneas de entradas y salidas en cada operación unitaria. Este diagrama responde a la ruta metalúrgica propuesta y al montaje de la planta sugerido.

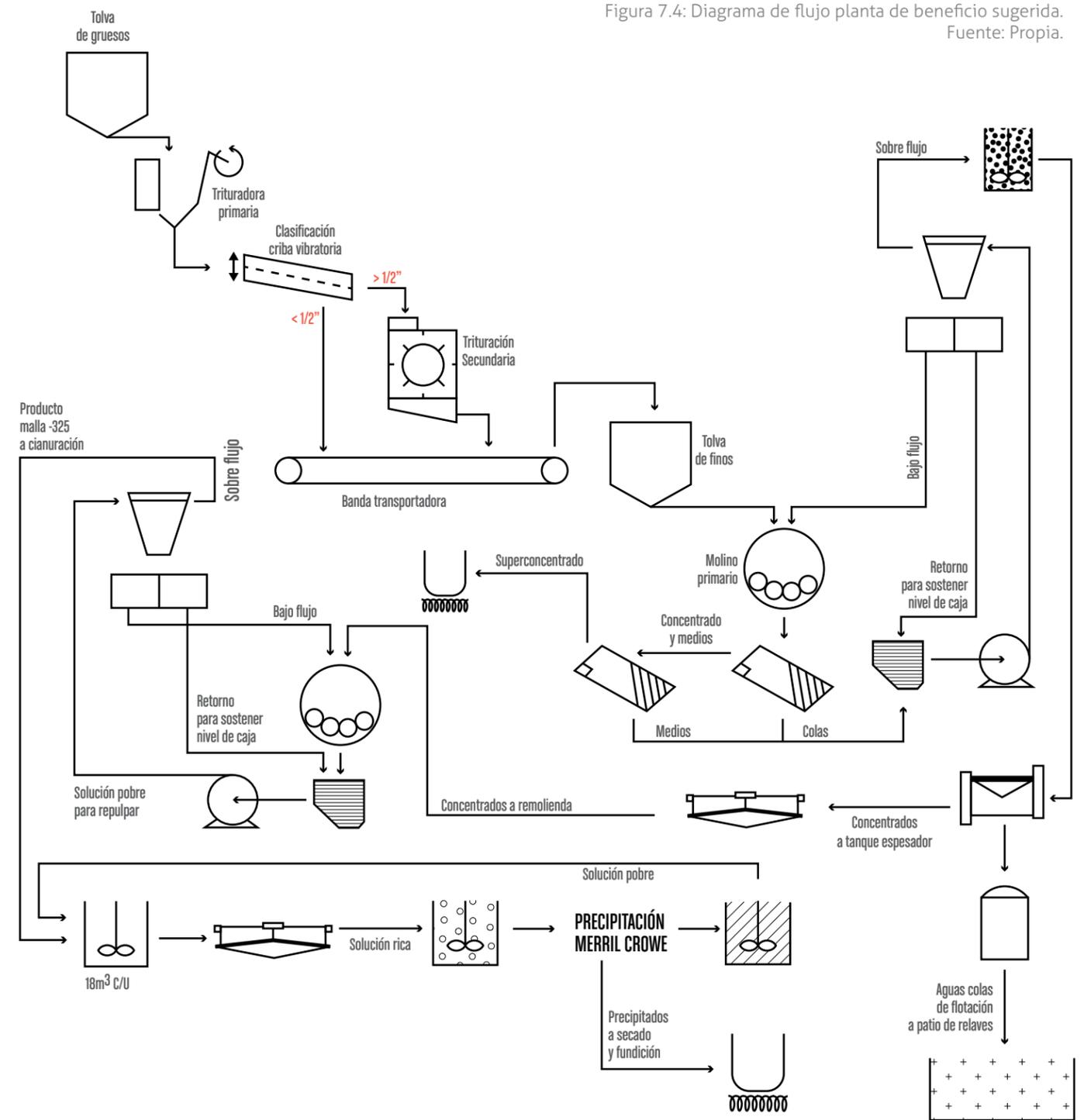
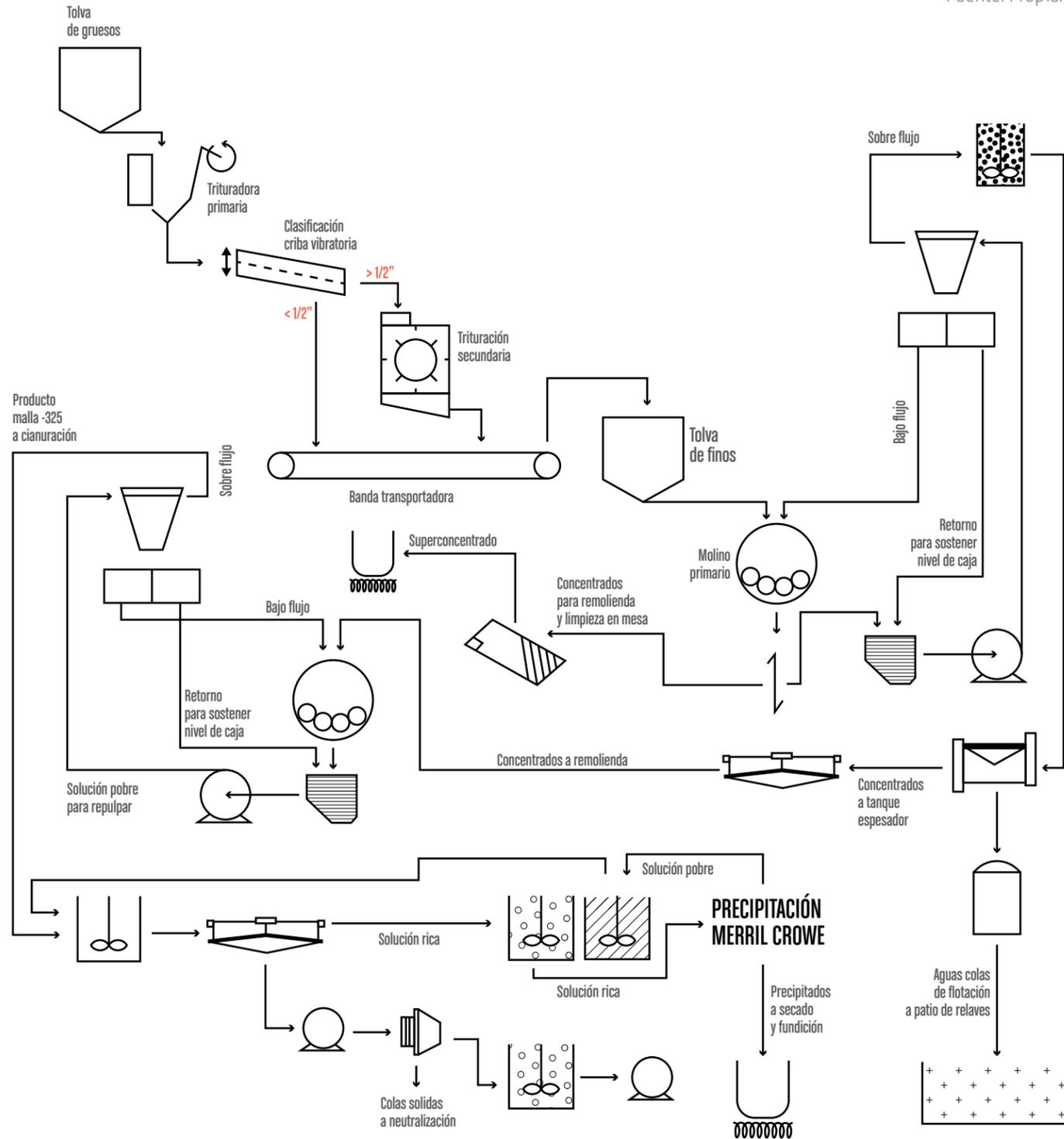


Figura 7.4: Diagrama de flujo planta de beneficio sugerida. Fuente: Propia.

7.5.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PLANTA DE BENEFICIO A LARGO PLAZO

Pensando en un desarrollo de la actividad minera a largo plazo, los criterios mineralógicos permiten proponer el diseño de una planta con una capacidad de procesamiento aproximada de 18 a 20 t/día. Esta propuesta contempla la inclusión de nuevos equipos, llegando a un alto grado de eficiencia para el aprovechamiento de recursos y una productividad ambientalmente sostenible.

Figura 7.5: Diagrama de flujo planta de beneficio sugerida. Fuente: Propia.



CONVENCIONES

SÍMBOLO	MÁQUINA	FOTOGRAFÍA
	Tolva	
	Trituradora de quijadas	
	Criba vibratoria	
	Trituradora de martillos	
	Banda transportadora	
	Molino de bolas	
	Hidrociclón	
	Caja repartidora	
	Tanque acondicionador	
	Celdas de flotación circulares	
	Tanque de colas	

SÍMBOLO	MÁQUINA	FOTOGRAFÍA
	Concentrador gravimétrico jig	
	Caja de pulpa	
	Bomba centrífuga	
	Mesa de concentración	
	Tanques agitadores	
	Filtro de tambor	
	Tanque solución rica	
	Tanque solución pobre	
	Tanque de agua de proceso	
	Tanque espesador	
	Fundición crisol	



7.6. CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LAS OPERACIONES ACTUALES.

- La zona minera de Íquira, en general, y las plantas de beneficio, en particular, requieren la implementación de un laboratorio para medir y controlar operativamente sus procesos.
- Los sistemas de concentración con dos mesas Wilfley, trabajando en serie, producen concentrados con buenos tenores de oro y plata; actualmente abastecen satisfactoriamente el proceso de amalgamación.
- Si bien puede haber algunas partículas de oro de tamaño superior a los 200 μm , el tamaño de estas partículas se presenta mayoritariamente en el rango entre 50 y 150 μm , de modo que pueden ser cianuradas sin que requieran tiempos prolongados por este aspecto. Desde este punto de vista, los concentrados que hoy van a amalgamación pueden ir a cianuración, condicionado esto a una adecuada molienda previa.
- Los concentrados de mesa tienen una composición alta de ganga. Esto significa que la separación de materiales livianos, como los silicatos, es incompleta; en la visita de campo se apreció que el concentrado llevaba partículas muy grandes de silicatos, producto de las condiciones de molienda.
- El circuito de reducción de tamaño que se acostumbra en la zona consiste en trituradora de quijadas-molino primario; teóricamente, debe complementarse de tal manera que quede compuesto por: trituradora primaria-pulverizador-molino primario.
- La heterogeneidad en la distribución del tamaño del alimento del molino dificulta el control del tamaño del producto, por distintas razones: la primera, relacionada con la disminución de la eficiencia de molienda debido a la heterogeneidad en el tamaño de los cuerpos moleadores; la segunda, se relaciona con la prolongación del tiempo de molienda que redundará en gastos ineficien-

tes de energía, gastos del equipo y posibles remoliendas, sumado lo anterior a la presencia de partículas muy grandes en el producto.

- Al no realizarse clasificación del producto de molienda, muchas partículas de tamaño excesivo van a la concentración, distorsionando la operación.
- Si se relaciona el tenor del material residual del proceso con los tenores de los concentrados de mesa, se puede deducir que las dos plantas de beneficio evaluadas tienen un alto índice de recuperación de oro por concentración gravimétrica, superiores al 70 %, el mismo que es llevado a amalgamación.
- La concentración de oro en la solución rica de cianuración en la planta San José de 2,3 mg/l debe incrementarse para lograr eficiencias mayores en la productividad de la cianuración.
- En la zona no se aplica el proceso de Merrill Crowe para la recuperación de oro y plata de la solución rica de cianuración. En su lugar, se practica el método de saturación con zinc. Esta práctica hace que los consumos de zinc sean mayores, la saturación con zinc de la solución pobre sea más rápida y que la extracción de oro no sea completa.
- Las soluciones residuales de cianuración analizadas muestran una cantidad apreciable de compuestos de cianuros complejos de cobre, hierro, mercurio y, probablemente, zinc. Esto exige implantar un procedimiento químico para neutralizar dichos compuestos y así poder desechar las soluciones residuales sin impactar negativamente el ambiente.



7.7. CONCLUSIONES METALÚRGICAS ACERCA DE LA RUTA PROPUESTA

CON RESPECTO AL TAMAÑO DE LIBERACIÓN DE LAS PARTÍCULAS

- En el material estudiado de las minas, las partículas de oro tienden a ser de un tamaño inferior a los 150 μm .
- En la composición mineralógica de los materiales de las minas aparecen los mismos minerales (pirita, calcopirita, galena, esfalerita, sulfuros de cobre, principalmente), diferenciándose en sus proporciones.
- En la mina La Milagrosa, a 300 μm el 43 % de los sulfuros metálicos estarían liberados; a 150 μm lo estarían el 85 %.
- En la mina La Unión, a 300 μm el 50% de los sulfuros metálicos estarían liberados y a 150 μm , el 78%.
- En la mina El Filón, a 300 μm lo estarían el 78 % y a 150 μm el 97 %.
- La mineralogía aportó información efectiva para predecir que, en el material de estudio, el 26 % del oro es susceptible de concentrar por flotación y el 74 % por gravimetría.

CON RESPECTO A LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO.

- Se plantea una preparación del material sometiéndolo a una reducción de tamaño secuencial: primero con la trituradora de mandíbulas, seguido por el pulverizador —que puede ser de martillo— y finalizando con el molino de bolas
- La molienda primaria puede llevarse a cabo tenido como malla de control un rango entre 300 y 600 μm .
- Se sugiere que la molienda secundaria se haga con una malla de control de 65 μm o menos, y se aplique sobre el rechazo de la concentración gravimétrica. Es probable que el material fino de la mesa no se tenga que llevar a la molienda secundaria.

• Un sistema efectivo para la clasificación del tamaño de partícula en el producto, tanto de la molienda primaria como de la molienda secundaria, que aporte mejores resultados metalúrgicos, menores gastos energéticos y menores gastos de equipo. El hidrociclón es una buena alternativa, al igual que el clasificador tipo Akins.

CON RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

- Mediante el bateo de los concentrados de mesa, en el laboratorio se obtuvo un hiperconcentrado gravimétrico con un tenor de 12,1 g de oro por kg. Este se pudo fundir para recuperar así el 25,6 % del oro original en una cantidad de masa equivalente al 1,3 % de la que entró a tratamiento.
- La mesa Gemini o la concentración por centrifugación pueden ser dispositivos mecánicos apropiados para aportar un concentrado gravimétrico apto para ser fundido directamente.
- El material neto de rechazo de la operación de concentración gravimétrica contiene el 26 % del oro y debe molerse a un d80 por lo menos de 65 μm y, posteriormente, flotarse.

CON RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN POR FLOTACIÓN

- El oro menor a 50 μm puede concentrarse por medio de la flotación. Así, tanto el oro concentrado gravimétricamente como el concentrado por flotación se cianurarían conjuntamente.
- El tamaño de partícula del material a flotar debe ser menor a 65 μm .
- La pulpa del material estudiado presenta un pH mayor a 7, debido a la presencia de carbonato de calcio. Es importante la adición de ácido sulfúrico y mantener un pH inferior a 6 durante la flotación.

CON RESPECTO A LA CIANURACIÓN

- En este estudio, el proceso de cianuración es alimentado con el concentrado de flotación extraído del



rechazo remolido de la concentración gravimétrica, y por el rechazo de la operación de refinación de los concentrados gravimétricos.

- Hay presencia de minerales consumidores de oxígeno y cianuro de sodio durante la cianuración del oro y la plata.

- Se le atribuye a minerales de cobre los consumos de cianuro de sodio y de oxígeno adicionales a lo requerido para la lixiviación del oro.

- Se prevé que el gasto de cianuro de sodio durante la lixiviación no sea mayor a 6 kg de cianuro de sodio por tonelada de material lixiviado.

- Se prevé que el gasto de cal durante la lixiviación de oro no sea mayor a 4,5 kg de cal por tonelada de material lixiviado.

- Hay necesidad de asistir la cianuración con oxígeno, bien sea con aireación inducida en los cianuradores o con peróxido de hidrógeno, advirtiéndose del cuidado que se debe tener con este reactivo.

- Con solo cianurar un concentrado de mesa se puede obtener al menos un 65 % de recuperación del oro. Esto significa que la sustitución de la amalgamación por otros métodos que llevan involucrados la cianuración son factibles desde el punto de vista técnico y productivo.

CON RESPECTO A LA EXTRACCIÓN DE ORO POR FUNDICIÓN DE UN SUPERCONCENTRADO GRAVIMÉTRICO

- Un concentrado de oro debe tener un tenor igual o superior a 3 g de oro por kg de concentrado para que su fundición directa sea justificable en términos de gastos de fundentes, de energía, de uso eficiente del crisol y del horno, y de obtención de un botón de oro notable y manejable con respecto a la escoria.

RECOMENDACIONES

- Los rendimientos presentados en este estudio pueden ser mejorados significativamente mediante la implementación otras prácticas geometalúrgicas que no hacen parte del alcance de esta guía.

- En la flotación, se recomienda incrementar el tiempo de espumación hasta 10 min.

- Algunas de las partículas de oro no cianuradas en las pruebas de laboratorio se presentan incluidas en pirita con tamaños menores a 10 μm de diámetro. Difícilmente este oro puede exponerse con una molienda para que pueda ser atacado por el cianuro. Una alternativa para la recuperación de este oro incluido de pequeño tamaño, es por medio de la biolixiviación. Bacterias del tipo *Thiobacillus ferrooxidans* atacarían la pirita y podrían generar poros por donde la solución lixivante de cianuro pueda llegar hasta el oro, atacarlo y disolverlo.

- Es importante estudiar formas de pretratamiento del material a cianurar, con el fin de disminuir los consumos de cianuro de sodio. Dado que se le atribuye un efecto cianicida y de consumos de oxígeno a los minerales de cobre, y en virtud de que el oro no tiende a asociarse con estos, se sugiere un estudio para una sustracción de estos minerales de cobre por medio de una flotación selectiva antes de la cianuración.

- Es recomendable estudiar el tratamiento de la solución residual de la cianuración, puesto que en esta la concentración de metales se va incrementando a medida que se reutiliza hasta un límite de saturación, punto en el cual hay que aplicar tratamientos para su adecuado vertimiento.



7.8. CONCLUSIONES ACERCA DE LA SUSTITUCIÓN DE LA AMALGAMACIÓN

- Según todos los resultados obtenidos, la extracción por refinación gravimétrica y fundición, y la extracción química con cianuro de sodio, pueden sustituir la extracción de oro con mercurio con grandes ventajas técnicas, productivas y ambientales en Íquira (Huila), con porcentajes de recuperación de oro mínimo del 84,5 %.

- Los concentrados de oro pueden llegar a representar menos del 30 % en masa del material inicial que entra al proceso. De este modo, los cianuradores trabajarían con esta fracción de masa, incrementándose la productividad en comparación con el estado actual en el que tienen que tratar con las colas de mesa junto con las colas de amalgamación (prácticamente con todo el material que entra al proceso).

8. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

La toma de decisiones de inversión en proyectos de reconversión y modernización tecnológica de una empresa minera requiere un análisis económico y financiero riguroso, con el fin de establecer la conveniencia de emprender el proyecto y efectuar una asignación eficiente de recursos.

En este capítulo se aportan los fundamentos teóricos y metodológicos mínimamente necesarios para que el minero pueda realizar un ejercicio de planeación y evaluación financiera de la operación futura de su planta de beneficio, después de haber implementado la ruta metalúrgica propuesta en esta guía.

8.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

Esta primera sección se dedica al estudio de generalidades teóricas relacionadas con los proyectos de inversión, al análisis de cada una de las etapas que comprende el estudio y a la evaluación financiera de proyectos de inversión.

8.1.1. GENERALIDADES SOBRE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN

8.1.1.1 DEFINICIÓN

Un proyecto de inversión es un plan que contiene dos elementos esenciales: una serie de actividades secuenciales e interrelacionadas entre sí, y la descripción del conjunto de recursos o medios necesarios para la materialización de una idea, la satisfacción de una necesidad o la solución de un problema. En este sentido, los proyectos constituyen un instrumento básico de información para la toma de decisiones de inversión.

8.1.1.2 CLASIFICACIÓN

En general, los proyectos de inversión se clasifican en tres campos:

- a) Según la categoría. De acuerdo con esta clasificación, los proyectos pueden ser de producción de bienes o de prestación de servicios (en este caso, el proyecto es de producción de bienes).
- b) Según la actividad económica. Esta clasificación se efectúa con base en el sector económico que atiende el proyecto (en este caso, el sector económico del proyecto es el de minería aurífera).
- c) Según su carácter y la naturaleza de la entidad que los promueva. De acuerdo con esta característica, los proyectos se clasifican en privados (con ánimo de lucro) y públicos (sin ánimo de lucro) (en este caso, el proyecto es de carácter privado con ánimo de lucro).

8.1.1.3. EL CICLO DE LOS PROYECTOS:

El ciclo de vida de un proyecto hace referencia al conjunto de etapas secuenciales que van desde su inicio hasta su cierre. En la formulación y la evaluación de proyectos es indispensable disponer de información oportuna, confiable y suficiente en cada una de estas etapas, para que el inversionista pueda tomar decisiones acertadas.

Las etapas del ciclo de vida de los proyectos son: la propuesta, la preinversión, la inversión y la operación.

• La propuesta.

En esta etapa se realizan los estudios diagnósticos necesarios para identificar los problemas que requieren solución y las oportunidades de negocio que puedan aprovecharse. En el caso de los proyectos de modernización tecnológica, esta etapa corresponde a todos los estudios diagnósticos del sistema de operación que se realizan con el fin de identificar necesidades de reemplazo de maquinarias y equipos obsoletos y la sustitución de procesos.

• La preinversión.

Esta etapa comprende la realización de estudios previos a la toma de decisiones de inversión. Por lo general, esta etapa se divide en dos fases: la formulación y la evaluación.

La formulación del proyecto:

en la fase de formulación, los estudios técnicos que se efectúan tienen como objetivo fundamental establecer los mejores procedimientos para satisfacer la necesidad o solucionar el problema previamente identificado, así como cuantificar los recursos necesarios para la puesta en marcha de la propuesta y, finalmente, estimar los ingresos y egresos que resultarían de la operación del proyecto.

Esta etapa a su vez se puede desarrollar en dos niveles: prefactibilidad y factibilidad.

Los proyectos de inversión tienen varios orígenes. En el caso de los proyectos de innovación y modernización tecnológica, estos resultan de la necesidad de las empresas de aumentar su productividad, adoptar prácticas responsables con el medio ambiente y disminuir costos directos para competir eficientemente en el mercado con precio y calidad, y, a la vez, contribuir al desarrollo sostenible de la región en donde se desarrolla el proyecto.

Prefactibilidad:

en los estudios de prefactibilidad las investigaciones se realizan de forma preliminar, a partir de información proveniente de fuentes primarias (trabajo de campo) y secundarias (bibliográficas). Vale la pena aclarar que en algunos casos la información secundaria es limitada, por lo cual se hace necesario realizar una investigación más profunda antes de decidir la elaboración de un estudio definitivo o de factibilidad.

Factibilidad:

en los estudios de factibilidad o “definitivos”, las investigaciones que se realizan son de mayor profundidad, puesto que la información resultante debe permitir la definición de estrategias definitivas para la materialización de la propuesta.

Por lo general, los estudios de prefactibilidad o factibilidad contienen los siguientes estudios:

- Estudio de mercado, que permite verificar la existencia de mercado para el bien o servicio, a través del estudio de la demanda, la oferta y los precios del bien a producir.
- Estudio técnico, que permite verificar la posibilidad técnica de fabricación del producto para alcanzar los objetivos del proyecto y descartar contingencias técnicas para su implementación.

- Estudio organizacional, que permite verificar la mejor forma de organización o estructura empresarial del proyecto productivo, de acuerdo con sus características y necesidades específicas.

- Estudio financiero, que permite cuantificar el monto de las inversiones necesarias para la puesta en marcha de la propuesta, y definir los ingresos y egresos de operación durante el periodo de evaluación del proyecto. Para tal efecto, se considera toda la información proveniente de los estudios de mercado, técnico y organizacional.

La evaluación del proyecto.

En esta fase se valora la viabilidad de la propuesta de inversión, tomando como referencia la información contenida en cada uno de los informes técnicos. El objetivo fundamental es evaluar la bondad financiera de las alternativas encontradas, con el fin de aceptarlas o rechazarlas, conforme a las exigencias de rentabilidad del inversionista.

Teniendo en cuenta que el presente capítulo tiene por objetivo primordial aportar información suficiente al minero para que por su cuenta realice un ejercicio de planeación financiera, en la sección 8.1.2 se incluye una explicación detallada de cada una de las etapas que comprende el estudio y la evaluación financiera de proyectos de inversión.

• La inversión:

en esta etapa se materializan las acciones contenidas en los estudios técnicos que se efectuaron en la etapa de preinversión, dando como resultado la adquisición de bienes o servicios que servirán para satisfacer la necesidad o solucionar los problemas previamente identificados.

La etapa de inversión comprende el periodo en el que se toma la decisión de ejecutar el proyecto (desembolso del dinero) y finaliza cuando el proyecto entra en operación.

• La operación:

esta etapa corresponde al periodo de permanente producción de bienes o prestación de servicios. En el caso de los proyectos de modernización tecnológica, la etapa de operación inicia en el momento en que se utiliza la maquinaria y se emplean procesos nuevos para la producción de bienes.

También puede definirse esta etapa como la materialización del plan en hechos reales, a través de la movilización de recursos humanos, financieros y logísticos que expresan salidas de dinero que están representadas en costos de producción, así como en ingresos, por la venta de los bienes o servicios.

8.1.2. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

8.1 2.1. PROPÓSITO DEL ESTUDIO FINANCIERO

Como se mencionó, el estudio financiero integra la información contenida en los demás estudios técnicos y su objetivo primordial es cuantificar el monto de la inversión necesaria para la puesta en marcha de la propuesta, así como estimar los ingresos y egresos de la operación durante el periodo de evaluación del proyecto.

8.1.2.2. ETAPAS DEL ESTUDIO FINANCIERO

La elaboración del estudio financiero comprende tres etapas: a) inversión inicial, b) ingresos operacionales, y c) costos operacionales.

- **Inversión inicial.**

esta etapa consiste en la identificación y cuantificación monetaria de los costos de la inversión de la puesta en marcha de la propuesta. Estas inversiones están representadas en activos fijos y activos diferidos.

- **Activos fijos:**

son aquellos activos tangibles que se utilizan de forma permanente en la producción de bienes y servicios. El costo de estos activos incluye, además de su precio de adquisición, los demás gastos en que incurre la empresa hasta dejarlos en condiciones de utilización. Algunos ejemplos de este tipo de activos son los terrenos, edificaciones, maquinaria y equipos, vehículos, minas y canteras, entre otros.

A su vez, estos activos fijos se subdividen en tres categorías: no depreciables (con vida útil ilimitada), depreciables (con vida útil limitada) y agotables (representados en recursos naturales que se disminuyen en cantidad y valor por su extracción).

- **Activos diferidos:**

son aquellos activos o inversiones que se realizan en contratación de servicios o derechos que se requieren para la puesta en marcha del proyecto. Algunos ejemplos de este tipo de activos son las licencias ambientales para la explotación de recursos naturales, el pago de estudios técnicos, el pago de permisos o derechos adquiridos, entre otros.

- **Costos operacionales.**

es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los gastos relacionados con el desarrollo de la operación. En el caso de los proyectos que tienen como objeto la producción de bienes, los costos operacionales se subdividen en directos e indirectos.

- **Costos directos:**

son aquellas erogaciones o gastos que tienen relación directa con la fabricación del producto. Algunos de estos son: materia prima, insumos, mano de obra directa (operarios), mantenimiento, depreciación de maquinaria y equipos, etc.

- **Costos indirectos:**

son aquellas erogaciones o gastos que no se relacionan directamente con la fabricación del producto. Algunos de estos son: mano de obra indirecta (servicios de aseo y vigilancia), servicios públicos, arrendamiento de plantas, etc.

- **Ingresos operacionales.**

Entrada de dinero a una empresa derivada de la venta de sus productos, servicios, operaciones financieras, entre otros.

8.1.2.3. PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de proyectos tiene como propósito fundamental determinar la conveniencia de emprender o no un proyecto, para lo cual se hace necesario valorar la rentabilidad de la inversión, a la luz de las exigencias de rentabilidad propias del inversionista.

8.1.2.4. ETAPAS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de proyectos comprende esencialmente dos etapas: la construcción del flujo de caja del proyecto y la aplicación de métodos de evaluación para establecer la conveniencia de emprender o no un proyecto.

- **La construcción del flujo de caja del proyecto.**

El flujo de caja constituye una herramienta esencial para la evaluación de proyectos, pues contiene el registro sistematizado de la información financiera necesaria para construir los indicadores de rentabilidad del proyecto. En efecto, esta herramienta permite determinar los flujos netos de efectivo que se utilizan en las técnicas de evaluación de proyectos.

Los componentes del flujo de caja son: a) inversión inicial del proyecto, b) ingresos y egresos reales de efectivo, c) depreciación y amortización, d) impuestos causados y pagados.

La inversión en compra de maquinaria y equipos requeridos para la adecuación de la planta se recupera descontando su valor de las utilidades que se reportan a la DIAN para efectos de pagar el impuesto de renta.

Se puede precisar que una inversión es conveniente si al final del período de evaluación esta se logra recuperar con intereses y deja un excedente.

El valor anual del desgaste de la maquinaria y de los equipos por uso (depreciación) se debe incluir en el flujo de caja del proyecto como gasto deducible de los impuestos que hay que pagar.

Debe tenerse en cuenta que, en la construcción del flujo de caja se consideran los ingresos y egresos en el momento en que ocurren.

- **Aplicación de métodos para evaluar proyectos de inversión:** dentro de los métodos más reconocidos para la evaluación financiera de proyectos de inversión se encuentran el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio-costos (RB/C).

- **Valor Presente Neto:**

• Valor presente neto: el VPN es una cifra monetaria que resulta de comparar el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos; es decir, es el valor de la diferencia entre los ingresos y los egresos del proyecto (flujos netos de efectivo), en pesos de la misma fecha.

Para poder comparar la diferencia de los ingresos y egresos del proyecto en pesos de una misma fecha se requiere trasladar estas cifras monetarias del futuro al presente, para lo cual se hace necesaria la definición de una tasa de descuento.

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto utilizando el VPN son los siguientes:

- El VPN es mayor a cero: se acepta el proyecto (el inversionista gana más de lo que quería ganar: el VPN indica cuánto más ganó en pesos del presente).
- El VPN es igual a cero: es indiferente en aceptar el proyecto (el inversionista gana lo que quería ganar después de recuperar la inversión inicial).
- El VPN es menor a cero: se rechaza el proyecto (el VPN indica la cantidad de dinero en pesos del presente que faltó para que el inversionista ganara lo que pretendía ganar —esto no indica ninguna pérdida—).

- **Tasa Interna de Retorno (TIR):**

la TIR es un indicador de rentabilidad financiera que señala hasta cuánto podría el inversionista aumentar su rendimiento exigido al proyecto (tasa de descuento). En este caso la TIR es aquella tasa que hace que el VPN sea igual a cero.

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto utilizando la TIR son los siguientes:

- La TIR es mayor que la tasa de descuento: se acepta el proyecto (el inversionista obtiene un rendimiento mayor que el exigido).
- La TIR es igual a la tasa de descuento: es indiferente en aceptar el proyecto (el inversionista es indiferente en emprender o no el proyecto).
- La TIR es menor que la tasa de descuento: se rechaza el proyecto (el inversionista gana menos de lo que quería ganar).

- **Análisis de la Relación Beneficio – Costo (RB/C):**

en este análisis se mide la RB/C de un proyecto, la cual resulta de dividir la suma total de los ingresos del proyecto en el horizonte de evaluación (tiempo definido para medir la bondad financiera del proyecto), entre la sumatoria de los costos de este, ambas sumas en pesos de hoy.

Para calcular la RB/C es necesario aplicar la fórmula del VPN para traer a valor presente los valores futuros de los ingresos y costos del proyecto.

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto utilizando la RB/C son los siguientes:

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto utilizando la relación Beneficio – Costo (RB/C) son los siguientes:

- La RB/C es mayor a uno: se acepta el proyecto (los beneficios son mayores que los costos, incluyendo la inversión inicial).
- La RB/C es igual a cero: es indiferente aceptar el proyecto (los beneficios son iguales a los costos).
- La RB/C es menor a uno: se rechaza el proyecto (los beneficios son menores que los costos).

8.2. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

En esta sección se enseña la metodología que se emplea en cada una de las etapas del estudio y la evaluación financiera del proyecto; se exponen las recomendaciones técnicas (provenientes de los estudios geológico, metalúrgico y químico-ambiental) que sustentan la definición de las variables de operación de la planta de beneficio que representa las condiciones típicas de la zona, y se presentan los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de ingresos y egresos de la operación futura, durante el horizonte de evaluación definido.

VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO TÍPICA DE LA ZONA

Para la realización del estudio se establecieron unas variables de operación de la planta de beneficio típica de la zona que fueron determinadas por el equipo técnico, a partir de la información recolectada en campo y de los resultados de los estudios técnicos efectuados.

• Capacidad de procesamiento	1 t/h
• Funcionamiento de la planta	8 h/día
• Volumen de procesamiento	8 t/día
• Turnos por día	1 por día
• Días de operación al mes	26 días
• Volumen de procesamiento	208 t/mes
• Tenor por tonelada de material de mina	32,04
• % Total de recuperación de oro	84,5 g/t
• Recuperación total de oro	27,07 g/t

Las inversiones que se requieren para la adecuación de la planta (maquinaria y equipo, instalaciones eléctricas e hidráulicas y montaje de laboratorio) dependerán de las características de cada planta y de la negociación del minero con su proveedor.

8.2.1. ESTUDIO FINANCIERO

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente las inversiones en activos fijos y diferidos que se requieren para la puesta en marcha de la propuesta, como se explica en enseguida.

8.2.1.1. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

ACTIVOS FIJOS

La inversión en activos fijos está representada en la adquisición de maquinaria y equipo (incluyendo el costo de instalaciones eléctricas e hidráulicas para su funcionamiento) y el costo del montaje del laboratorio.

• Maquinaria y equipo

Este rubro comprende el costo de la maquinaria y equipos que se deben adquirir para mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de las plantas de beneficio e implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en esta guía.

Para la definición de maquinaria y equipos a comprar se partió del inventario inicial de las plantas de la zona, con el objetivo de evitar incurrir en costos innecesarios y optimizar así los recursos disponibles.

La puesta en marcha de la propuesta de modernización requiere la compra total de la maquinaria que se relaciona en seguida. Estas especificaciones técnicas corresponden a la capacidad de procesamiento de la planta de beneficio definida por el equipo técnico.

En la siguiente tabla se detalla la maquinaria y equipos nuevos que se requieren para cada proceso.

PROCESOS	MÁQUINA Y DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CANTIDAD
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Criba vibratoria	1,5 m x 0,9 m	1
	Trituradora de martillos	24" x 10"	1
	Banda transportadora con estructura de soporte (20 m)	18"	1
	Caja de pulpa	0,80 m x 0,80 m x 1 m	1
	Bomba de sólidos	2,5" x 2"	3
	Hidrociclón 1	6"	1
CONCENTRACIÓN	Hidrociclón 2	4"	1
	Tanque acondicionador	1 m ³	1
	Celdas de flotación circulares	1,2 m	3
CIANURACIÓN	Tanque espesador	2,5 m	2
	Tanques de cianuración agitada	D=3 m, H=3 m	1
FUNDICIÓN	Precipitación, sistema Merrill Crowe	5 a 10 m ³ / hora	1
	Horno con crisol para 15 kg		1
MANEJO AMBIENTAL	Bomba para soluciones de 2" x 1,5" de baja	2 HP	2
	Bomba sumergible	2 HP	2
	Tanque en lámina	Capacidad de 30 m ³	3
	Tanques auxiliares en propileno	1000 L	3
	Tanque auxiliares en lámina para neutralización	D= 3 m; H=3,5 m	1
	Tanque reactor	D=3 m; H=3,5 m	1

• Instalaciones eléctricas e hidráulicas.

Este rubro comprende el costo de materiales y pago de honorarios de personal calificado que llevará a cabo las adecuaciones eléctricas e hidráulicas, necesarias para la instalación y puesta en funcionamiento de la maquinaria y los equipos nuevos (la descripción del alcance del trabajo de instalaciones eléctricas puede consultarse en el informe técnico que sustenta la presente guía).

• Montaje de laboratorio.

Este rubro comprende el costo del montaje del laboratorio requerido para obtener información, oportuna y veraz, acerca de la eficiencia de las operaciones a nivel de proceso y de los impactos ambientales de tipo químico que se estén causando con el proceso de beneficio.

ACTIVOS DIFERIDOS

La adquisición del siguiente activo diferido está sujeta a las condiciones propias de cada planta.

• Licencia ambiental

Este rubro comprende el costo de los estudios previos que se deben realizar para tramitar la solicitud de la licencia ambiental y el valor que se debe pagar a la autoridad ambiental competente, una vez sea aprobada la licencia.

Para el desarrollo de la explotación minera y el beneficio de oro se debe contar con dos criterios básicos. 1) trabajar bajo el amparo de un título minero y 2) contar con un instrumento ambiental.

8.2.1.2. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente cada uno de los costos (directos e indirectos) de la operación de la planta de beneficio, conforme a la ruta metalúrgica propuesta.

De acuerdo con el diagrama de operaciones de la ruta metalúrgica propuesta (diagrama 7.2), los costos de operación se cuantificaron y clasificaron para cada uno de los siguientes procesos:

- Trituración y molienda
- Concentración (gravimétrica y por flotación)
- Cianuración
- Fundición
- Manejo ambiental

COSTOS DIRECTOS

Los costos directos del proceso de beneficio son: materia prima, insumos, mano de obra, mantenimiento de maquinaria y equipos, análisis y pruebas de laboratorio, servicios públicos (energía eléctrica y agua), y depreciación de bienes físicos.

• Materia prima

El costo de materia prima corresponde al valor que se debe pagar por cada tonelada de material de mina (mineral) puesto en tolva. En este ejercicio, el costo de la materia prima se estimó en un porcentaje equivalente al 30 % del valor de venta final del oro que se recupera por cada tonelada de material procesado.

Fórmula para calcular el costo de la materia prima:

Costo de material de mina (\$/t) = Au recuperado (g/t) × precio de venta (\$) × 30%

• Insumos

Respecto al rubro de insumos, se tiene en cuenta el costo de los reactivos y elementos químicos que se emplean en cada proceso, según se detalla en la siguiente tabla:

PROCESOS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CONSUMO POR TONELADA*	CONSUMO MENSUAL**
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Cuerpos moledores	kg	1,2	250
	Revestimientos trituradora primaria	kg	1,2	250
	Revestimientos trituradora secundaria	kg	1,2	250
	Revestimientos molino primario	kg	1,2	250
	Revestimientos molino secundario	kg	1,2	250
CONCENTRACIÓN	Aero 7020 (contratipo A31)	kg	0,045	9,36
	Aero 8255 (contratipo A31)	kg	0,045	9,36
	Xantato isopropílico Z6	kg	0,085	17,68
	Espumante Aero-Froth 65	kg	0,04	8,32
	Sulfato de cobre	kg	0,05	10,40
CIANURACIÓN	Cianuro de sodio (NaCN)	kg	3	624
	Cal (CaO)	kg	5	1.040
	Hidróxido de sodio (potasa)	kg	0,0391	8
	Acetato de plomo	kg	0,003	1
	Polvo de zinc	kg	0,024	5
FUNDICIÓN	Xelite (diatomita)	kg	0,013	3
	Bórax	kg	0,044	9
	Carbonato de sodio	kg	0,008	2
MANEJO AMBIENTAL	Sílice	kg	0,025	5
	Floculante	kg	0,004	1
	Ácido sulfúrico	kg	0,3	62
	Peróxido de hidrógeno	kg	0,23	48
	Hipoclorito de sodio	L	0,23	48

Nota: (*) La dosificación por tonelada fue determinada por el equipo técnico. (**) La cantidad consumida mes se estimó para 208 toneladas, conforme a las variables de operación de la planta.

• Mano de obra

En este rubro se cuantifica el pago mensual de los salarios del personal vinculado a la operación; los aportes a seguridad social que deben ser asumidos por el empleador con base en la Ley 100 de 1993 (salud, pensión y aseguradora de riesgos profesionales [ARP]); los aportes parafiscales que deben destinarse al Instituto de Bienestar Familiar (ICBF), al SENA y a las cajas de compensación familiar (CCF), así como la respectiva provisión mensual para el pago de las prestaciones sociales (prima, vacaciones, cesantías, e intereses de cesantías).

Salarios de los empleados:

el costo de mano de obra se calcula para un total de cinco empleados, conforme a la distribución de operarios por proceso y la asignación salarial, que se muestran en la siguiente tabla:

PROCESO	CARGO	CANTIDAD DE OPERARIOS	TURNOS X DÍA	SUELDO BÁSICO X MES (COP)	AUX. TRANSPORTE X MES (COP)	SALARIO TOTAL X MES (COP)*
Trituración y molienda	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
Concentración	Operario	2	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 1.738.906
Cianuración	Operario	1	1	\$ 781.242	\$ 88.211	\$ 869.453
General	Jefe de Turno	1	1	\$ 3.000.000	\$ 0	\$ 3.000.000
Total:		5		\$ 5.343.726	\$ 264.633	\$ 6.477.812

Nota: (*) El salario total asignado para los operarios corresponde al valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018. El jefe de turno se encarga de la supervisión de la operación y de la dosificación de los reactivos en el proceso de flotación. El operario del proceso de cianuración se encarga del proceso de neutralización.

Aportes al Sistema General de Seguridad Social (SGSS)

el cálculo de aportes a cargo del empleador, con destino al SGSS se realizó con base en los sueldos básicos por mes que se indicaron en la tabla anterior.

Fórmula para calcular los aportes a seguridad social.

Aportes a seguridad social (\$/mes) = sueldo básico (\$) × % aportes (EPS, pensión, ARL)

Aportes Parafiscales

estos aportes corresponden a una contribución obligatoria del empleador con destino al SENA, al ICBF y a las CCF, con el propósito de que dicho aporte permita a estas entidades ejecutar las labores para las cuales fueron creadas; su cálculo se estimó conforme a los salarios básicos asignados a los empleados.

Fórmula para calcular los aportes a parafiscales.

Aportes parafiscales (\$/mes) = sueldo básico (\$) × % aporte (SENA, ICBF, CCF)

Prestaciones sociales

El cálculo de la provisión mensual sobre el valor de la nómina para el pago de prestaciones sociales a los trabajadores, se estimó con base en el salario mensual total asignado a cada operario.

Fórmula para calcular la provisión.

Provisión mes = salario total (\$) × % de carga prestacional (prima, vacaciones, cesantías)

Fórmula para calcular la provisión para intereses de cesantías.

Provisión mes intereses de cesantías = cesantías (\$) × 12 %

El cálculo de los aportes al SGSS y contribuciones parafiscales se debe realizar sobre la base del sueldo básico, es decir, sin tener en cuenta el auxilio de transporte. En tanto que la liquidación de las prestaciones sociales se debe tomar como base del cálculo del salario total, esto es, el sueldo básico más auxilio de transporte.

CONCEPTO	APORTE SGSS COP (\$)	DESCRIPCIÓN
EPS (salud)	\$66,406	Aporte total: \$97,655 Empleador: (8,5%) \$66,406 Trabajador: (4%) \$31,250
Pensión (AFP)	\$93,749	Aporte total: \$124,999 Empleador: (12%)\$93,749 Trabajador: (4%)\$31,250
ARL	\$ 54,374	Riesgo V (6,96%): \$ 54,374 Empleador \$54.374
Total:	214.529	

Cálculo con base en Ley 100 de 1993, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

CONCEPTO	APORTES PARAFISCALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Caja de Compensación Familiar	\$ 31.250	4% a cargo del empleador
ICBF	\$ 23.437	3% a cargo del empleador
SENA	\$ 15.625	2% a cargo del empleador
Total:	\$70.312	

Cálculo con base en % establecidos en Código Sustantivo del Trabajo, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

CONCEPTO	PRESTACIONES SOCIALES COP(\$)	DESCRIPCIÓN
Cesantías (8,33%)	\$72.425	Equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado.
Intereses de cesantías (12%)	\$ 8.691	Corresponde al 12% sobre el valor a pagar de las cesantías.
Prima de servicios (8,33%)	\$72.425	Equivale a un mes de salario por cada año trabajado o según el tiempo laborado.
Vacaciones (4,17%)	\$ 36.256	La Ley del Trabajo establece 15 días hábiles consecutivos de vacaciones anuales remuneradas.

Cálculo con base en Ley 1607 de 2012, valor del salario mínimo mensual vigente en Colombia para 2018.

MANTENIMIENTO DE LOS BIENES FÍSICOS

en este rubro se cuantifican todos los gastos necesarios para conservar la maquinaria y los equipos en buenas condiciones, a efecto de que trabajen con rendimiento normal durante su vida útil.

El valor del mantenimiento de la maquinaria y los equipos se estableció en un porcentaje equivalente a 0,75% sobre el valor comercial de la maquinaria (este valor incluye el costo del mantenimiento preventivo, correctivo y cambio de repuestos).

Fórmula para calcular los aportes a seguridad social.

Costo de mantenimiento (\$) = valor comercial total (\$) x 0.75%

ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO

Este rubro comprende el costo de los ensayos de laboratorio que deben realizarse cada mes, con el objetivo de disponer de información oportuna y veraz acerca de la eficiencia de las operaciones en cada uno de los procesos, así como de los impactos ambientales de tipo químico que se estén generando.

En la siguiente tabla se relacionan los tipos de ensayos, tipos de muestras y cantidades mínimas que se deben realizar en cada mes de la operación.

PROCESOS	TIPO DE ENSAYO	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD (UNIDAD/MES)
TRITURACIÓN	Ensayos al fuego	Cabeza general	26
	Ensayos al fuego	Cola de flotación	26
CONCENTRACIÓN	Ensayos al fuego	Concentrado de mesa	26
	Ensayos al fuego	Superconcentrado	8
	Ensayos al fuego	Fundido	8
CIANURACIÓN	Ensayos al fuego	Cola de cianuración	26
	Absorción atómica	Oro en solución de cianuración	52
	Absorción atómica	Oro en solución pobre	26
	Absorción atómica	Zinc en solución pobre	2
	Absorción atómica	Cobre en solución	2
MANEJO AMBIENTAL	Absorción atómica	Ambientales	4

SERVICIOS PÚBLICOS

es necesario precisar que en los costos indirectos de fabricación (CIF) usualmente se tienen en cuenta los costos de los servicios públicos. Sin embargo, en este ejercicio financiero se clasifica el costo del consumo de agua y energía como costo directo del proceso de operación, con el objetivo de establecer un punto de referencia para evaluar el aumento de consumo de energía que se generaría en la planta, a partir de la implementación de la propuesta tecnológica y para estimar el costo del consumo de agua en el proceso de beneficio.

Costo de energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores empleados en la planta y el número de horas al día que se utilizarían, de acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio. La siguiente tabla contiene el detalle del consumo de energía eléctrica por mes para cada equipo.

El costo total por energía eléctrica mensual se calcula con base en el consumo en kWh-mes y la tarifa por kW que se paga a la empresa que suministra el servicio.

Fórmula para el cálculo del costo mensual de energía eléctrica es la siguiente:

Costo de la energía eléctrica (\$) = consumo energía (kWh-mes) x tarifa kW (\$)

PROCESOS	EQUIPO	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	POTENCIA MOTOR (HP)	POTENCIA MOTOR (kW)	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO	KW/DÍA	KW/MES
TRITURACIÓN Y MOLIENDA	Trituradora de mandíbulas	10" x 16"	12	9	1	4	36	936
	Criba vibratoria	1,5 x 0,9m	2	1,5	1	4	6	156
	Trituradora de martillos	24" x 10"	25	18,75	1	4	75	1.950
	Banda transportadora	18"	3	2,25	1	4	9	234
	Molino de bolas primario	4"x 5"- 1,20 x 1,50	30	22,5	1	8	180	4.680
	Molino de bolas secundario	1,0 m x 2,5 m	25	18,75	1	8	150	3.900
	Bomba de sólidos	2,5" x 2"	7,5	5,625	1	8	45	1.170
Total Trituración y Molienda								13.026
CONCENTRACIÓN	Mesa de concentración 1	1,50 m x 2,50 m	2	1,5	1	8	12	312
	Mesa de concentración 2	1,50 m x 2,50 m	2	1,5	1	8	12	312
	Celdas de flotación circulares	1,2 m	12	9	1	8	72	1.872
	Tanque espesador	2,5 m	2	1,5	1	8	12	312
	Tanque acondicionador		5	3,75	1	8	30	780
	Total Concentración							
CIANURACIÓN	Tanque agitación		12	9	3	8	216	5.616
	Sistema Merrill Crowe	5 a 10 m ³ /h	14	10,5	1	0	3	78
	Compresor		45	33,75	1	8	270	7.020
Total Cianuración								12.714
MANEJO AMBIENTAL	Tanque agitado		12	9	1	8	72	1.872
	Bombas para recirculación	5 HP	5	3,75	3	8	90	2.340
Total Manejo Ambiental								4.212
TOTAL								33.540

Costo de agua

En este rubro se cuantifica el costo por consumo de agua en el proceso de beneficio de la planta, de acuerdo con la tarifa reportada por la empresa prestadora del servicio en la zona.

Para determinar la cantidad de agua que se consume en el proceso de beneficio de la planta el equipo técnico realizó un ejercicio experimental a través de un balance de masa hídrico, mediante el cual se logró establecer que el consumo específico de agua por tonelada de mineral proceso es de 0,53 m³.

Fórmula que se empleó para el cálculo del costo mensual de agua es la siguiente:

Costo del agua (\$) = consumo de agua (m³/mes) x tarifa m³ (\$)

DEPRECIACIÓN

En este rubro se cuantifica la disminución en el valor original de la maquinaria, como consecuencia de su uso durante el tiempo de vida útil. Debe tenerse en cuenta que, pese a que la depreciación no representa una salida de efectivo, este mecanismo debe considerarse a efectos de recuperar la inversión en activos fijos.

El valor de depreciación mensual de cada equipo se estimó por medio del método en línea recta, utilizando como referencia un tiempo de vida útil de diez años.

Fórmula para el cálculo de la depreciación de la maquinaria y equipo es la siguiente:

Costo depreciación (\$) = valor comercial del equipo (\$) / tiempo de vida útil (meses)

El método de línea recta está reconocido por la DIAN para efectos de descontar el valor de la depreciación de la base de cálculo del impuesto de renta y complementarios.

COSTOS INDIRECTOS

En este análisis los CIF se calculan como un porcentaje equivalente al 10 % de la suma de los costos directos de la planta de beneficio.

Fórmula para el cálculo de los CIF es la siguiente:

$$\text{CIF (\$)} = \text{valor de costos directos (\$)} \times 10\%$$

El costo e ingreso unitario, es decir, el valor por cada gramo de oro, se calcula dividiendo el valor de los costos totales del mes sobre el número de gramos recuperados y viceversa.

COSTOS TOTALES

Los costos totales de la operación mensual de la planta de beneficio se determinan mediante la suma de los costos directos e indirectos.

En este sentido, **la fórmula para el cálculo del costo total es la siguiente:**

$$\text{Costos totales mensuales (\$)} = \text{total de los costos directos mensuales (\$)} + \text{total de los costos indirectos mensuales (\$)}$$

8.2.1.3. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE INGRESOS DE OPERACIÓN

En esta etapa se identificaron y valoraron monetariamente los ingresos mensuales que se obtienen de la operación de la planta de beneficio. Para esto, se debe multiplicar la cantidad de oro producido en gramos por el precio al que se vende cada gramo de oro.

Fórmula que se utilizó para determinar la cantidad de oro que se recupera por cada tonelada de material procesado, es la siguiente:

$$\text{Oro recuperado por t (g)} = \text{tenor (g)} \times \% \text{ de recuperación total}$$

CANTIDAD DE MATERIAL PROCESADO (Ton)	RECUPERACIÓN TOTAL (%)*	CANTIDAD RECUPERADA (g/t)
1	100	32,04
1	84,5	27,07

(*) Con la implementación de la propuesta tecnológica se puede alcanzar hasta un 84,5% de recuperación de oro por tonelada, obteniéndose el 33,5% de recuperación en el proceso de concentración gravimétrica y el 50,94%, restante, en el proceso de cianuración.

(**) Para la zona minera de Pacarní se determinó un tenor de 32,04 gramos, por tonelada.

Una vez se ha determinado la cantidad de oro recuperado por cada tonelada de material de mina procesado, se emplea la siguiente fórmula para establecer la cantidad de oro que se produce en un mes:

$$\text{Producción de oro (g)} = \text{oro recuperado (g)} \times \text{material de mina procesado mensualmente (t)}$$

Finalmente, se utiliza la siguiente fórmula para determinar los ingresos mensuales por la venta de oro producido.

$$\text{Ingresos totales mensuales (\$)} = \text{producción mensual de oro (g)} \times \text{precio del oro (\$/g)}$$

8.2.2 EVALUACIÓN FINANCIERA

En esta sección se presenta la metodología que se emplea en las dos etapas de la evaluación financiera, y se exponen los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de ingresos y costos de operación, durante el horizonte definido para la evaluación del proyecto.

Hay que recordar que la evaluación financiera de proyectos comprende esencialmente dos etapas: la construcción del flujo de caja del proyecto y la aplicación de métodos de evaluación, para establecer la conveniencia de emprender o no un proyecto.

8.2.2.1 CONSTRUCCIÓN DEL FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

El tiempo definido para medir la bondad financiera del proyecto u horizonte de evaluación de este es de cinco años. A continuación se explican cada uno de los componentes del flujo de caja y los supuestos que se utilizaron para la proyección de ingresos y costos de operación de la planta de beneficio, en cada uno de los años que comprende el horizonte de evaluación.

INVERSIÓN INICIAL

El monto de la inversión inicial se registra dentro de la estructura del flujo de caja en el año 0. Esto se debe a que la inversión se realiza antes de la puesta en marcha del proyecto.

INGRESOS GRAVABLES

Los ingresos gravables que se registran en el flujo de caja del proyecto son los mismos ingresos operacionales que resultan de la venta de oro producido en cada año. Los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de los ingresos gravables son:

- La producción anual se mantiene constante en el horizonte de evaluación del proyecto (cada año se produce la misma cantidad de oro).
- A partir del año 2 el precio del oro aumenta en una proporción del 3 % anual.

Fórmula para el cálculo de los ingresos gravables anuales, es la siguiente:

$$\text{Ingresos gravables en el año 1 (\$)} = \text{producción de oro en el año 1 (g)} \times \text{precio del oro en el año 1 (\$/g)}$$

EGRESOS DEDUCIBLES

Los egresos deducibles que se registran en el flujo de caja del proyecto son los costos de operación, la depreciación y el pago de regalías.

La tasa para la liquidación de regalías por explotación de oro es del 4 % sobre la producción en boca de mina.

La fórmula para la liquidación de las regalías, es la siguiente:

$$\text{Regalías del año 1 (\$)} = (\text{producción de oro año 1 (g)} \times \text{precio fijado por el Banco de la República en el año 1 (\$/g)}) \times 4\%$$

• Supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de los egresos deducibles

- A partir del año 2, el costo de la materia prima (material de mina) aumenta en una proporción del 3 % anual.
- A partir del año 2, el costo de los insumos aumenta en una proporción del 2 % anual.
- A partir del año 2, el costo de mano de obra aumenta en una proporción del 4 % anual.
- A partir del año 2, el precio para la liquidación de las regalías aumenta en una proporción del 3 % anual.

Los demás costos de operación (mantenimiento, análisis y pruebas de laboratorio, servicios públicos y costos indirectos de fabricación) permanecen constantes en el horizonte de evaluación del proyecto, es decir que para cada año el costo es el mismo.

Las regalías son una contraprestación económica que recibe el Estado por la explotación de un recurso natural no renovable cuya producción se extingue con el transcurso del tiempo. De conformidad con los artículos 58, 332 y 360 de la Constitución Política, toda explotación de recursos naturales no renovables de propiedad estatal genera una regalía como contraprestación económica.

UTILIDAD OPERACIONAL

La utilidad operacional antes de impuestos es la ganancia obtenida por la empresa, antes del pago de impuestos.

Fórmula para el cálculo de la utilidad antes de impuestos es la siguiente:

Utilidad operacional del primer año (\$) = ingresos gravables en el primer año (\$) - egresos deducibles en el primer año (\$)

MARGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL

Este indicador determina el porcentaje que queda por cada peso de venta después de deducir todos los costos y gastos de la operación de la planta de beneficio.

Fórmula para el cálculo del margen de utilidad operacional es la siguiente:

Margen de utilidad operacional del primer año (%) = (utilidad operacional en el primer año (\$) / ingresos gravables en el primer año (\$)) × 100

IMPUESTOS

en el flujo de caja del proyecto se debe estimar el impuesto de renta, que corresponde al impuesto que grava todos los ingresos que obtenga un contribuyente en el año que sean susceptibles de producir incremento neto del patrimonio en el momento de su percepción, siempre que no hayan sido expresamente exceptuados, y considerando los costos y gastos en que se incurre para producirlos.

En la última reforma tributaria contenida en la Ley 1819 del 29 de diciembre del 2016 (Congreso de la República de Colombia, 2016), se estableció el 33 % como tarifa general del impuesto de renta para las persona jurídicas.

Fórmula para el cálculo del impuesto de renta es la siguiente:

Impuesto de renta del primer año (\$) = utilidad antes de pagar impuestos (\$) × 33%

UTILIDAD NETA

La utilidad neta es la ganancia obtenida por la empresa, después de haber pagado impuestos.

La fórmula para el cálculo de la utilidad neta es la siguiente:

Utilidad neta del primer año (\$) = utilidad operacional en el primer año (\$) – impuesto de renta del primer año (\$)

MARGEN DE UTILIDAD NETA

Este indicador determina el porcentaje que queda por cada peso de venta, después de deducir todos los costos y gastos de la operación de la planta de beneficio, incluyendo el pago de impuesto de renta.

Fórmula para el cálculo del margen de utilidad neta es la siguiente:

Margen de utilidad neta del primer año (%) = (utilidad neta en el primer año (\$) / ingresos gravables en el primer año (\$)) × 100

FLUJO NETO DE EFECTIVO

Los flujos netos de efectivo son los beneficios futuros que genera el proyecto en cada año que comprende el horizonte de evaluación.

Fórmula para el cálculo del flujo neto de efectivo es la siguiente

Flujo neto de efectivo en el primer año (\$) = utilidad neta en el primer año (\$) + depreciación en el primer año (\$)

8.2.2.2 APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA EVALUAR PROYECTOS

A continuación se presentan las fórmulas que se emplearon para el cálculo de los indicadores de evaluación financiera del proyecto.

VALOR PRESENTE NETO (VPN):

para el cálculo del VPN se utilizaron dos tasas de descuento, la primera equivalente al 20 % y la segunda del 30 %. Recordemos que la tasa de descuento TD se utiliza para trasladar los flujos netos de efectivo del futuro al presente.

La fórmula para el cálculo del (VPN) es la siguiente:

$$VPN = -Inversión inicial ($) + \frac{FNE (\$)_{año 1}}{(1+TD)^1} + \frac{FNE (\$)_{año 2}}{(1+TD)^2} \dots \frac{FNE (\$)_{año 5}}{(1+TD)^5}$$

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR):

La fórmula para el cálculo de la TIR es la siguiente:

$$TIR = \frac{-Inversión Inicial ($) + \sum_{t=1}^5 FNE (\$)}{\sum_{t=1}^5 (TD(\%)*FNE(\$))}$$

RELACIÓN BENEFICIO COSTO (RB/C)

Antes de calcular la relación Beneficio - Costo se requiere estimar el valor presente neto (VPN) de los beneficios y de los costos. Para esto se utilizaron dos tasas de descuento: la primera, equivalente al 20%, y la segunda, del 30%.

$$VPN \text{ Ingresos} = \frac{\text{Ingresos operacionales año 1}}{(1+TD)^1} + \frac{\text{Ingresos operacionales año 2}}{(1+TD)^2} \dots \frac{\text{Ingresos operacionales año 5}}{(1+TD)^5}$$

$$VPN \text{ Costos} = \frac{\text{Costos operacionales año 1}}{(1+TD)^1} + \frac{\text{Costos operacionales año 2}}{(1+TD)^2} \dots \frac{\text{Costos operacionales año 5}}{(1+TD)^5}$$

Poner: Después de estimar el valor presente neto (VPN) de los beneficios y de los costos, se procede a calcular la relación beneficio - costo (RB/C).

Fórmula para calcular la relación beneficio-costo (RB/C)

$$\text{Relación Beneficio - Costo} = \frac{\sum_{t=1}^5 (VPN) \text{ Ingresos}(\$)}{\sum_{t=1}^5 (VPN) \text{ Costos}(\$)}$$

*En los costos operacionales no se tiene en cuenta la depreciación de los bienes físicos y la maquinaria.

8.3. ESTUDIO Y EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

En esta sección se presentan los resultados de la estimación del monto de recursos económicos que se requieren para la inversión inicial, los costos totales y el valor de la producción en función de los parámetros de operación definidos para la planta, así como los indicadores que comprueban la viabilidad financiera del proyecto.

Inversión inicial

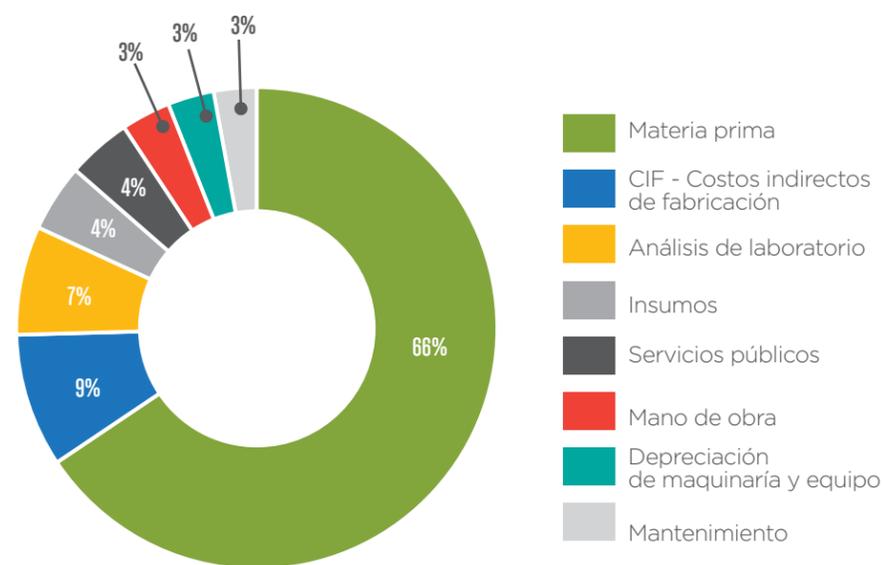
DESCRIPCIÓN	COSTO	% PARTICIPACIÓN EN INVERSIÓN
Activos fijos		
Maquinaria y equipo	\$ 651.328.650	80%
Instalaciones eléctricas e hidráulicas	\$ 165.877.490	20%
Total Activos Fijos	\$ 817.206.140	100%

Los precios cotizados se encuentran detallados en el informe técnico.

Costo operación-mes

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
Costos Directos	
Materia prima	\$ 200.111.693
Insumos	\$ 13.539.151
Mano de obra	\$ 10.125.056
Mantenimiento	\$ 7.946.240
Análisis y pruebas de laboratorio	\$ 22.300.000
Servicios públicos	\$ 13.530.980
Depreciación de maquinaria y equipo	\$ 9.924.947
Total Costos Directos	\$ 277.478.067
Costos Indirectos	
CIF - Costos indirectos de fabricación	\$ 27.747.807
Total Costos Indirectos	\$ 27.747.807
Total Costos: (Directos + Indirectos)	\$ 305.225.873

Estructura de costos de operación futura-Planta de Beneficio



Ingresos de operación – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (g/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (g)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/g)*	COP (\$)
Concentración gravimétrica	33,6	10,75	2.236	\$ 118.465	\$ 264.873.448
Cianuración	50,9	16,32	3.395	\$ 118.465	\$ 402.165.528
Total:	84,5	27,07	5.631		\$ 667.038.976

*Corresponde al precio promedio internacional en 2017.

Fuente: cálculo propio con base en información Equipo Técnico y Banco de la República de Colombia.

Flujo de caja del proyecto (5 años)

CONCEPTO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(1) INVERSIÓN INICIAL (-)						
Activos fijos	\$ 817.206.140					
Activos diferidos						
TOTAL INVERSIÓN INICIAL	-\$ 817.206.140					
(2) INGRESOS GRAVABLES (+)						
Ingresos operacionales		\$ 8.004.467.715	\$ 8.244.601.747	\$ 8.491.939.799	\$ 8.746.697.993	\$ 9.009.098.933
(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)						
Costos operacionales		\$ 3.543.611.118	\$ 3.631.775.713	\$ 3.722.602.964	\$ 3.816.174.172	\$ 3.916.366.266
Depreciación		\$ 119.099.364	\$ 119.099.364	\$ 119.099.364	\$ 119.099.364	\$ 119.099.364
Regalías		\$ 256.142.967	\$ 263.827.256	\$ 271.742.074	\$ 279.894.336	\$ 288.291.166
TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES		\$ 3.918.853.449	\$ 4.014.702.333	\$ 4.113.444.401	\$ 4.215.167.872	\$ 4.323.756.796
(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 4.085.614.267	\$ 4.229.899.413	\$ 4.378.495.398	\$ 4.531.530.121	\$ 4.685.342.137
(5) MÁRGEN UTILIDAD OPERACIONAL		51%	51%	52%	52%	52%
(6) IMPUESTOS (-)						
IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)		\$ 1.348.252.708	\$ 1.395.866.806	\$ 1.444.903.481	\$ 1.495.404.940	\$ 1.546.162.905
TOTAL IMPUESTOS		\$ 1.348.252.708	\$ 1.395.866.806	\$ 1.444.903.481	\$ 1.495.404.940	\$ 1.546.162.905
(7) UTILIDAD NETA		\$ 2.737.361.559	\$ 2.834.032.607	\$ 2.933.591.916	\$ 3.036.125.181	\$ 3.139.179.232
(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA		34%	34%	35%	35%	35%
(9) DEPRECIACIÓN (+)		\$ 119.099.364				
(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO	-\$ 817.206.140	\$ 2.856.460.923	\$ 2.953.131.971	\$ 3.052.691.280	\$ 3.155.224.545	\$ 3.258.278.596

8.3.1 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN FINANCIERA

El VPN del proyecto a una tasa de descuento del 20 % es de Ocho mil doscientos once millones seiscientos trece mil seiscientos setenta pesos M/CTE. (\$8.211.613.670).

A una tasa de descuento del 30 %, el VPN del proyecto es de seis mil cuatrocientos noventa y nueve millones doscientos cuarenta y nueve mil quinientos treinta pesos M/CTE. (\$6.499.249.530).

Teniendo en cuenta que el VPN es mayor que cero (para ambas tasas de descuento), se concluye que el proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, pues los dineros invertidos en el proyecto rinden más que estas tasas de interés de oportunidad.

La TIR del 353 % anual es mayor que las dos tasas de interés de oportunidad del inversionista definidas en este proyecto como del 20 % y el 30 % anual. Se concluye que este proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, en la medida en que los dineros que permanecen invertidos en él rinden a una tasa del 353 % anual.

Para este proyecto la RB/C a tasas de interés de oportunidad del 20 % y del 30 % es de 2,12. De este resultado se concluye que el proyecto se justifica desde el punto de vista financiero, pues los beneficios son mayores que los costos.

Indicadores de evaluación financiera

INDICADOR	TD 20%	TD 30%
Valor presente Neto (VPN)	COP \$8.211.613.670 USD* \$2.737.205	\$6.499.249.530 USD* \$2.166.417
Tasa Interna de Retorno (TIR)	353%	353%
Relación Beneficio / Costo (B/C)	2,12	2,12

Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.

8.4. ESTUDIO FINANCIERO OPERACIÓN ACTUAL FRENTE A OPERACIÓN FUTURA

En esta sección se exponen los resultados del estudio financiero de la operación actual de la planta, a partir de los cuales se estableció una base de comparación (en términos de porcentaje de recuperación, cantidad de oro recuperado, costo unitario de producción, margen de utilidad operacional y de utilidad neta), para analizar la viabilidad económica de la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.

VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE BENEFICIO ACTUAL

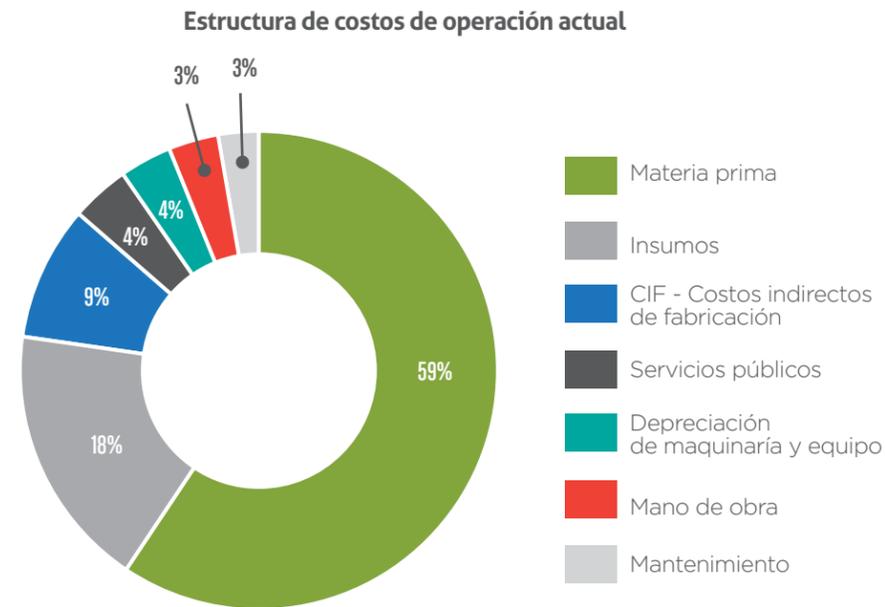
- Capacidad de procesamiento: 0,38 t/h
- Funcionamiento de la planta: 8 h/día
- Volumen de procesamiento: 3 t/día
- Turnos por día: 1 por día
- Días de operación al mes: 26 días
- Volumen de procesamiento: 78 t/mes
- Tenor por tonelada de material de mina: 32,04
- % Total de recuperación de oro: 81 g/t
- Recuperación total de oro: 25,95 g/t

Debe tenerse en cuenta que la información de la operación actual de la planta de beneficio típica de la zona, se construyó a partir de pruebas de laboratorio efectuados por el equipo técnico con base en información recolectada en trabajo de campo.

Costo operación - mes planta actual

DESCRIPCIÓN	COP (\$)
Costos Directos	
Materia prima	\$ 71.942.155
Insumos	\$ 21.653.309
Mano de obra	\$ 4.032.276
Mantenimiento	\$ 3.387.225
Servicios públicos	\$ 4.832.318
Depreciación de maquinaria y equipo	\$ 4.238.583
Total Costos Directos	\$ 110.085.866
Costos Indirectos	
CIF - Costos indirectos de fabricación	\$ 11.008.587
Total Costos Indirectos	\$ 11.008.587
Total Costos: (Directos + Indirectos)	\$ 121.094.453

8.4.1 RESULTADOS DE LA OPERACIÓN ACTUAL



Ingresos de operación actual – mes

PROCESO	RECUPERACIÓN DE ORO %	RECUPERACIÓN DE ORO (gr/t)	PRODUCCIÓN DE ORO (gr/mes)	PRECIO UNITARIO DE ORO (\$/gr)*	COP (\$)
Amalgamación	50	16,02	1.250	\$ 118.465	\$ 148.029.125
Cianuración	31	9,93	775	\$ 118.465	\$ 91.778.058
Total:	81	25,95	2.024		\$ 239.807.183

*Corresponde al precio promedio internacional en 2017.
Fuente: cálculo propio con base en información Equipo Técnico y Banco de la República de Colombia.

Flujo de caja de la operación actual (5 años)

CONCEPTO	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(2) INGRESOS GRAVABLES (+)					
Ingresos operacionales	\$ 2.877.686.198	\$ 2.964.016.784	\$ 3.052.937.287	\$ 3.144.525.406	\$ 3.238.861.168
(3) EGRESOS DEDUCIBLES (-)					
Costos operacionales	\$ 1.402.270.434	\$ 1.438.605.043	\$ 1.475.993.815	\$ 1.514.468.085	\$ 1.560.126.504
Depreciación	\$ 50.863.000	\$ 50.863.000	\$ 50.863.000	\$ 50.863.000	\$ 50.863.000
Regalías	\$ 92.085.958	\$ 94.848.537	\$ 97.693.993	\$ 100.624.813	\$ 103.643.557
TOTAL EGRESOS DEDUCIBLES	\$ 1.545.219.392	\$ 1.584.316.580	\$ 1.624.550.809	\$ 1.665.955.898	\$ 1.714.633.062
(4) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$ 1.332.466.805	\$ 1.379.700.204	\$ 1.428.386.479	\$ 1.478.569.508	\$ 1.524.228.106
(5) MÁRGEN DE UTILIDAD OPERACIONAL	46%	47%	47%	47%	47%
(6) IMPUESTOS (-)					
IMPUESTO DE RENTA (33%) (-)	\$ 439.714.046	\$ 455.301.067	\$ 471.367.538	\$ 487.927.938	\$ 502.995.275
TOTAL IMPUESTOS	\$ 439.714.046	\$ 455.301.067	\$ 471.367.538	\$ 487.927.938	\$ 502.995.275
(7) UTILIDAD NETA	\$ 892.752.760	\$ 924.399.137	\$ 957.018.941	\$ 990.641.570	\$ 1.021.232.831
(8) MÁRGEN DE UTILIDAD NETA	31%	31%	31%	32%	32%
(9) DEPRECIACIÓN (+)	\$ 50.863.000				
(10) FLUJO NETO DE EFECTIVO	\$ 943.615.760	\$ 975.262.137	\$ 1.007.881.941	\$ 1.041.504.570	\$ 1.072.095.831

Nota: Los supuestos que se tuvieron en cuenta para la proyección de ingresos y costos de operación actual, son los mismos que se definieron para la operación futura de la planta de beneficio típica de la zona.

El detalle de cada uno de los cálculos anteriores, pueden ser consultados en el informe técnico que soporta la presente guía.

8.4.2. RESUMEN DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL FRENTE A OPERACIÓN FUTURA

INDICADOR	UNIDAD	OPERACIÓN ACTUAL	OPERACIÓN FUTURA
Recuperación oro (g/t)	%	81,00	84,50
Cantidad de oro recuperado por tonelada	gr	25,95	27,07
Costo de producción unitario por gramo de oro	COP (\$)	\$ 59.821	\$ 54.208
Costo de producción unitario por onza Troy de oro	USD (\$)	\$ 626,20	\$ 567,44
Utilidad antes de impuestos por gramo de oro	COP(\$)	\$ 54.853	\$ 60.467
Utilidad antes de impuestos por onza Troy de oro	USD(\$)	\$ 574,20	\$ 632,95
Margen de utilidad operacional - (promedio 5 años)	%	46,74%	51,54%
Utilidad después de impuestos por gramo de oro	COP (\$)	\$ 36.751	\$ 40.513
Utilidad después de impuestos por onza troy de oro	USD(\$)	\$ 384,71	\$ 424,08
Margen de utilidad neta (promedio 5 años)	%	31,32%	34,53%
Indicador de productividad (producto/insumo)		1,98	2,19

Precio de venta por gramo de oro: COP \$ 118.465
Precio de venta por onza Troy de oro: USD \$ 1.228
Tasa de cambio utilizada COP \$3000/USD.
Factor de conversión utilizado: 1 onza Troy = 31.1034768 gramos

8.4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE INDICADORES DE OPERACIÓN ACTUAL FRENTE A OPERACIÓN FUTURA

La adopción integral de la propuesta contenida en esta guía para realizar una migración hacia el uso de tecnologías limpias en el proceso de beneficio de oro, permite a la empresa minera incrementar la productividad total en aproximadamente un 11 %, al pasar de una razón producto/insumo total de 1,98 bajo las condiciones de su producción actual, a una razón de productividad de 2,19 con la implementación de la ruta metalúrgica propuesta. Lo anterior corrobora la generación de beneficios económicos a la empresa minera y se espera que represente, desde el punto de vista financiero, un incentivo para que el empresario adopte estas prácticas responsables con el medio ambiente y desarrolle su operación bajo el estricto cumplimiento de estándares técnico-administrativos y legales.

En el escenario actual de la planta, el costo unitario de producir un gramo de oro es de COP \$59.821, mientras que la implementación de la propuesta lo reduce a COP \$54.208, esta disminución en el costo, junto con el aumento de los ingresos por un porcentaje mayor de recuperación de oro, se traduce en un incremento de la utilidad neta de 10.25%.

Se resalta que en el escenario de producción actual se estableció que el costo unitario para producir un gramo de oro es de aproximadamente COP \$59,821/g de oro; se espera que con la operación futura el costo unitario del gramo de oro sea de COP \$54,208/g de oro. Este resultado indica una reducción efectiva de los costos unitarios del 9,4 %.

Esta reducción en costos unitarios de producción, junto con el aumento en el porcentaje del gramo de oro recuperado por cada tonelada de mineral procesado (del 81 % al 84,5 %), resulta en un aumento del margen de utilidad neta proyectada para los cinco años evaluados, al pasar del 31,32 % en la actualidad, al 34,53 % en la operación futura.

Como anexo a la presente guía se encuentra un simulador en formato Excel, en el cual podrá introducir las variables de operación deseadas (acorde con las características propias de la planta de beneficio) y efectuar un ejercicio de planeación financiera para estimar los costos unitarios de operación, los márgenes de utilidad operacional y poder determinar los rendimientos futuros de la inversión necesaria para la implementación de la ruta metalúrgica propuesta.



8.5. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS SOBRE LA OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE BENEFICIO

- En el estudio financiero de la operación actual de la planta típica de la zona definida para la zona, se utilizó como referencia un porcentaje de recuperación de oro del 81 % por cada tonelada de material mineral procesado, obteniéndose el 50 % en el proceso de amalgamación y el 31 % restante en el proceso de cianuración, de acuerdo con la información suministrada por el equipo técnico.
- Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de Pacarní es de 32,04 g y que la operación actual permite una recuperación promedio del 81 %, en el estudio financiero se estimó una recuperación de 25,95 g por cada tonelada de mineral procesado.
- Los rubros más representativos dentro de la estructura de costos de la operación actual de la planta típica de la zona son la materia prima y los insumos, cada uno con una participación sobre los costos totales del 59 % y el 18 %, respectivamente. Esta participación elevada de los insumos está representada en un 63 % por el costo del kg de mercurio que se utiliza en el proceso de amalgamación.
- Se estableció que las plantas de beneficio de la zona disponen de un sistema efectivo de reutilización del agua con la que atienden la molienda y la concentración. Los análisis de laboratorio efectuados por el equipo técnico permitieron estimar que el consumo de agua por cada tonelada de mineral procesado es de 0,53 m³.
- Las plantas de beneficio se aprecian en buen estado y con superficies que se prestan a ampliaciones y reformas. Sin embargo, se determinó que actualmente estas operan con una capacidad ociosa, al procesar en promedio 3 t de material mineral, en lugar de 8 (que corresponde a su capacidad instalada). Esta capacidad ociosa implica un elevado costo financiero.

- El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores empleados en la planta y el número de horas al día que se utilizarían, de acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio típica de la zona (el consumo de energía actual es de 11.973 kW/mes).
- El costo unitario aproximado con los parámetros de la operación actual definidos para la planta típica de la zona es de COP \$59.821, por cada gramo de oro, y de USD \$626,20 por cada onza Troy de oro.
- El precio de venta que se utilizó como referencia para el estudio financiero de la operación actual, corresponde al precio del oro promedio internacional del 2017. Este precio es de COP \$118.465/g y de USD \$1228/onza Troy.
- La ganancia unitaria (antes de impuestos) aproximada es de COP \$54.853/g de oro y de USD \$574,20/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional del 46,74 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
- La ganancia unitaria neta (después de impuestos), bajo la operación actual de la planta típica de la zona, es de COP \$36.752/g de oro y de USD \$384,71/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta del 31,32 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.



8.6. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS ACERCA DE LA OPERACIÓN FUTURA DE LA PLANTA DE BENEFICIO

- Con base en la capacidad promedio instalada de las plantas de beneficio de la zona, se estableció un potencial de procesamiento anual de 2496 t de material de mina, lo cual implica un funcionamiento de la planta de 26 días al mes y un procesamiento de 8 t de material mineral al día.
- La implementación de la propuesta de adecuación tecnológica para la sustitución del uso del mercurio en el proceso de beneficio del oro permite alcanzar hasta un 84,5 % de recuperación de oro por tonelada, obteniéndose el 33,5 % de recuperación en el proceso de concentración gravimétrica y el 50,94 %, restante en el proceso de cianuración. Este porcentaje es mayor en relación con la recuperación promedio que se tiene en esta zona.
- Teniendo en cuenta que el tenor de la zona minera de Pacarní es de 32,04 g y que la implementación de la ruta metalúrgica en la operación futura permite una recuperación mínima del 84,5 %, se espera una recuperación de 27,07 g por cada tonelada de mineral procesado.
- Se definió un esquema conservador, en el cual se obtiene una recuperación de oro equivalente al 84,5 % por cada tonelada de material mineral procesado. Sin embargo, estos rendimientos pueden ser superiores al 90 %.
- A partir de las características de planta típica de la zona y las variables de operación definidas por parte del equipo técnico, se realizó un inventario de la maquinaria y los equipos nuevos que se deben adquirir para mejorar algunos de los procesos que se están llevando a cabo en la operación actual de las plantas de beneficio, e implementar los nuevos procesos que se detallan en la ruta metalúrgica contenida en la presente guía. El monto de recursos a invertir para la adecuación es de COP \$817.206.140.
- La definición del inventario de maquinaria y equipos nuevos, con sus respectivas especificaciones técnicas, se determinó a partir del inventario inicial de las plantas de la zona. Esto con el objetivo de evitar incurrir en costos innecesarios y optimizar los recursos disponibles para la inversión.
- Los rubros más representativos dentro de la estructura de costos de la operación futura de la planta típica de la zona son la materia prima y los análisis y pruebas de laboratorio, cada uno con una participación sobre los costos totales del 66 % y el 7 %, respectivamente.
- El consumo de energía eléctrica por cada equipo se determinó a partir de la potencia nominal de los motores

empleados en la planta y el número de horas al día que se utilizarían, de acuerdo con los parámetros de operación previamente definidos para la planta de beneficio típica de la zona (el consumo de energía es de 33.540 kW/mes).

- A partir de pruebas de laboratorio efectuadas por el equipo técnico se determinó la dosificación adecuada de los insumos y los elementos químicos que se deben utilizar en cada uno de los procesos de la operación. Con esto, se espera que en la operación futura de las plantas de la zona de Íquira se realice un uso eficiente de estos insumos.
- El costo unitario aproximado que se puede alcanzar con la implementación de la propuesta de adecuación es de COP \$54.208 por cada g de oro y de USD \$567,44 por cada onza Troy.
- El costo de los análisis y pruebas de laboratorio que se deben realizar para tener el control de la eficiencia de cada uno de los procesos de la operación y los impactos ambientales que se es posible se generen, pueden racionalizarse con la inversión futura en el montaje de un laboratorio. Se prevé que este laboratorio puede tener una demanda potencial de las empresas mineras de la zona.
- El precio de venta que se utilizó como referencia para el estudio financiero de la operación futura corresponde al precio del oro promedio internacional del 2017. Este precio es de COP \$118.465/g y de USD \$1228/onza Troy.
- Con la implementación de la presente propuesta de modernización tecnológica se alcanza una ganancia unitaria (antes de impuestos) de COP \$60.467/g de oro y de USD \$632,95/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad operacional del 51,54 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
- Con la implementación de la presente propuesta de modernización tecnológica se alcanza una ganancia unitaria neta (después de impuestos) de COP \$40.513/g de oro y de USD \$424,08/onza Troy de oro. Esto corresponde a un margen de utilidad neta del 34,53 % en promedio para los cinco años contemplados como horizonte de evaluación.
- Se estableció que la inversión en adecuación de las plantas de beneficio de la zona se justifica desde el punto de vista financiero, ya que los resultados de los indicadores demuestran que los beneficios son mayores que los costos, incluyendo la inversión inicial, y que los dineros invertidos en el proyecto rinden más que las tasas de interés de oportunidad del 20 % y el 30 %, anual.
- El periodo de recuperación de la inversión bajo las tasas de interés de oportunidad del 20 % y el 30 % anual es inferior a 1 año.

Filón y alteración en la roca en mina.
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano

- GLOSARIO

El objetivo del Glosario es unificar los conceptos técnicos que se emplean en el desarrollo del contenido de la guía, con la intención de que los mineros a quienes está dirigido se apropien y apliquen los términos correctos a utilizar dentro de su actividad productiva.

Aa

Activo: Conjunto de todos los bienes y derechos con valor monetario que son propiedad de una empresa, institución o individuo, y que se reflejan en su contabilidad.

Adecuación ambiental: Acción de manejo o corrección destinada a hacer compatible una actividad, obra o proyecto con el ambiente, o para que no lo altere significativamente.

Administradora de Riesgos Profesionales: Entidad aseguradora de riesgos profesionales reglamentada por el Decreto número 1722 de 1994 que se refiere a la afiliación y a las cotizaciones del Sistema General de Riesgos Profesionales.

Alteración: (1.) Cambio en la composición química o mineralógica de una roca, producido generalmente por meteorización o por acción de soluciones hidrotermales. (2.) En general, se refiere a cambios físicos o químicos sufridos por rocas y minerales después de su formación, promovidos por procesos exógenos tales como meteorización, o por procesos endógenos tales como magmatismo o fallamiento.

Alteración argílica: Tipo de alteración hidrotermal también denominado argílica intermedia: caracterizada por la presencia de caolinita o montmorillonita.

Alteración filíca: Tipo de alteración hidrotermal, también denominada cuarzo sericítica o simplemente sericítica: caracterizada por el desarrollo de sericita y cuarzo secundario. Es el resultado de una hidrólisis moderada a fuerte de los feldespatos, en un rango de temperatura de 300° - 400°C.

Alteración potásica: Alteración desarrollada en presencia de soluciones casi neutras y a altas temperaturas (400°-600°C), la cual se caracteriza por la formación de nuevos silicatos de potasio, tales como feldespato potásico secundario o mica (biotita) secundaria con posible presencia de anhidrita.

Amortización: Reconocimiento contable de la pérdida gradual de valor de un activo fijo a lo largo de su vida física o económica. Los activos amortizables permiten dar como gasto del ejercicio un porcentaje de su valor.

Análisis: Proceso de identificar una pregunta, modelar un evento, investigar modelos, interpretar resultados y dar recomendaciones.

Arcilla: (1.) La palabra arcilla se emplea para hacer referencia a rocas sedimentarias y, en general, a un material terroso de grano fino que se hace plástico al ser mezclado con una cantidad limitada de agua. Las arcillas son siempre de grano muy fino, el límite superior en el tamaño de los granos corresponde, por lo general, a un diámetro de 0,004 mm (menores de 4 micras). En mineralogía y petrografía se conocen como arcillolitas.

Arena (rocas sedimentarias): El término arena es un término textural y sirve para designar materiales o partículas, producto de la desintegración natural o artificial de rocas preexistentes cuyo tamaño oscila entre 0,0625 y 2 mm de diámetro.

Arenisca: Roca sedimentaria detrítica terrígena compuesta de mínimo un 85% de materiales tamaño arena, generalmente granos de cuarzo más o menos redondeados, con tamaños entre 0,0625 y 2 mm. Son rocas comunes, y se constituyen en componente esencial de numerosas series estratigráficas, en capas regulares o no, y también en lentejones. Estas rocas son de color blanco a gris claro o diversamente coloreadas, según la naturaleza del cemento, como rojo (óxidos de hierro), verde (glauconita) y otros. Las variedades se distinguen por el tamaño del grano, la naturaleza del cemento o la presencia de elementos particulares. Minerales esenciales: cuarzo. Minerales accesorios: feldespato, micas. Cemento silíceo, de óxidos de hierro y de calcita. A veces contiene minerales pesados (como rutilo y otros). Textura: grano medio y redondeado; distribución homogénea y pocas veces contienen fósiles.

Autoridad ambiental: Es la autoridad que tienen a su cargo fiscalizar los recursos naturales renovables, aprobar estudios de impacto ambiental, adoptar términos y guías, aprobar la Licencia Ambiental, delimitar geográficamente las reservas forestales, sancionar de acuerdo con las normas ambientales, no autorizar la licencia ambiental de acuerdo con el artículo 195 de la Ley 685 de 2001, recibir los avisos de iniciación y terminación de las explotaciones mineras.

Autoridad minera: Es el Ministerio de Minas y Energía o, en su defecto, la autoridad nacional, que de conformidad con la organización de la administración pública y la distribución de funciones entre los entes que la integran, tienen a su cargo la administración de los recursos mineros, la promoción de los aspectos atinentes a la industria minera, la administración del recaudo y distribución de las contraprestaciones económicas, con el fin de desarrollar las funciones de titulación, registro, asistencia técnica, fomento, fiscalización y vigilancia de las obligaciones emanadas de los títulos y solicitudes de áreas mineras.

Bb

Bauxita: Roca formada por óxidos de aluminio y de hierro hidratados, fórmula $Al_2O_3 \cdot xH_2O$, que suele presentar aspecto terroso, arcilloso o pisolítico y con colores del blanco sucio al pardo, con zonas más oscuras. Es la única mena, comercial, de aluminio. Su composición química es variable en el detalle, y define su calidad industrial. Las bauxitas se explotan para la extracción metalúrgica del aluminio, del que son la única mena. Los principales yacimientos de bauxitas se localizan en Australia, Brasil, Guayana y Surinam.

Beneficio de Minerales: Conjunto de operaciones empleadas para el tratamiento de menas y minerales por medios físicos y mecánicos con el fin de separar los componentes valiosos de los constituyentes no deseados con el uso de las diferencias en sus propiedades.

Bienes Finales: Bienes y servicios que conforman la Demanda Final y son aquellos cuyo proceso de producción se ha concluido en el período y están disponibles para su utilización; la mayor parte ha sido técnicamente terminada, es decir, no serán objeto de una nueva transformación en el período. BF.

Bioacumulación: Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en su medio o en los alimentos. Las sustancias propensas a la bioacumulación alcanzan concentraciones crecientes a medida que se avanza en el nivel trófico en la cadena alimenticia.

Biogeoquímico/a: Interacción entre los compuestos geoquímicos y los organismos vivos. La biogeoquímica es necesaria para comprender el funcionamiento de los seres vivos, desde el nivel de organización celular hasta el ecosistema que conforman. Además, esta ciencia permite comprender el porqué de muchos de los problemas ambientales (cambio climático, destrucción de la capa de ozono, contaminación ambiental) y de procesos esenciales para la sociedad (producción de cultivos, reciclaje de residuos, depuración ambiental). El desarrollo de la biogeoquímica se adapta muy bien a aquellas regiones que presentan una vegetación muy densa y donde la cartografía geológica es difícil de ser llevada a cabo por ausencia de afloramientos.

Bocamina: (1.) La entrada a una mina, generalmente un túnel horizontal. (2.) Sitio en superficie por donde se accede a un yacimiento mineral.

Cc

Capacidad minera instalada: Es la máxima cantidad de producción que una mina ha sido diseñada para producir.

Capital: 1. Stock de recursos disponibles en un momento determinado para la satisfacción de necesidades futuras. Es decir, es el patrimonio poseído susceptible de generar una renta. Constituye uno de los tres principales elementos que se requieren para producir un bien o un servicio. 2. Es la suma de todos los recursos, bienes y valores movilizados para la constitución y la puesta en marcha de una empresa.

Capital de inversión: Es la suma de todos los recursos, bienes y valores movilizados para la constitución y la puesta en marcha de una empresa. Es su razón económica. Cantidad invertida en una empresa por los propietarios, socios o accionistas.

Chimenea: (1.) Una entrada vertical a una mina hecha hacia abajo desde la superficie. 2. Excavación vertical o inclinada que desemboca directamente en la superficie y está destinada a la extracción del mineral, al descenso y al ascenso del mineral y los materiales. En la chimenea van canalizados los cables eléctricos, las tuberías de conducción de agua y aire comprimido; a través de la chimenea se efectúa la ventilación de todas las labores subterráneas.

Cianuración: Método para extraer oro o plata a partir de un mineral triturado o molido, mediante disolución en una solución de cianuro de sodio o potasio.

Cianuro de sodio: Compuesto químico ampliamente usado en las plantas de tratamiento de minerales de oro para disolver oro y plata.

Ciclo geoquímico: Ocurrencia de cambios geológicos que se dividen en dos etapas: Ciclo mayor: comprende todos

los procesos involucrados en la formación de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas). Ciclo menor: asociado a la formación de suelos a partir de las rocas preexistentes. Ambas etapas se reintegran en diferentes momentos de la cadena para dar nuevamente inicio al proceso o ciclo geoquímico.

Ciclo minero: Diferentes fases que ocurren durante el desarrollo de un proyecto minero, definidas en el "Plan Nacional de Desarrollo Minero" del Ministerio de Minas y Energía, que abarcan desde la gestación de un proyecto hasta su cierre. El Ciclo minero tiene las siguientes cinco (5) fases: Gestación del proyecto, Exploración, Desarrollo Minero, Producción y Desmantelamiento.

Cinética: Velocidad de disolución de un analito. Para el caso de la cianuración, se denomina velocidad de disolución de oro. Cantidad de sustancia/tiempo

Cizalla: Deformación resultante del esfuerzo que causa o tiende a causar que partes contiguas de un cuerpo se deslicen relativamente una con otra en una dirección paralela a su plano de contacto. Este es el modo de falla de un cuerpo en el cual la porción de masa sobre un lado de un plano o superficie se desliza y pasa sobre el lado opuesto. Este término también se usa para referirse a superficies y zonas de falla por cizalla, y a superficies a lo largo de las cuales han ocurrido movimientos diferenciales.

Clasificación (beneficio): Operación de separación de los componentes de una mezcla de partículas de minerales en dos o más fracciones de acuerdo con su tamaño, forma y densidad. Cuando se realiza en medio húmedo, la operación también depende de las propiedades del fluido en el que se encuentran las partículas, y de las características reológicas de la pulpa.

Código de Minas: Normas que regulan las relaciones entre los organismos y entidades del Estado, y de los particulares entre sí, sobre las actividades de prospección, exploración, explotación, beneficio, transporte, aprovechamiento y comercialización de los recursos no renovables que se encuentren en el suelo o subsuelo, así sean de propiedad de la nación o privada. Todas estas normas están contenidas en la Ley 685 de 2001, Código de Minas vigente.

Comercialización: En minería, compraventa de minerales o de cualquier producto resultante de la actividad minera.

Concentración (beneficio): Operación unitaria en la cual se busca eliminar el material que no es de interés económico con el fin de disminuir el volumen de mineral a procesar. Para esta separación se pueden utilizar propiedades físicas (diferencia de densidad, atracción de campos magnéticos, eléctricos) o físico químicas de los minerales.

Concentración gravimétrica: Método de concentración que aprovecha la diferencia en el peso específico entre los minerales a separar.

Concentración mecánica: Tratamiento del mineral bruto por procedimientos físicos que aumentan su riqueza al eliminar una parte mayor o menor del material estéril, tales como: lavado, clasificación, trituración, molienda, dimensionado y pulido de rocas.

Concentración por medios densos: Método de concentración que se basa en la diferencia de densidades entre el fluido empleado para la operación y los minerales a separar. Durante el proceso, las partículas más densas que el fluido se hundan, mientras las livianas flotan.

Concentración residual: Acumulación de minerales in situ como resultado de procesos de meteorización de las rocas. Las lateritas se producen por este tipo de procesos. Concentrado: Es el producto enriquecido de las operaciones de concentración de minerales.

Concentrado bulk: Concentrado que contiene más de un metal con valor comercial.

Concentrador (industria minera): 1. Planta donde la mena es separada en "material de valor" (concentrados) y "material de desecho" (colas). 2. Un aparato de la planta de concentración, como las celdas de flotación, jigs, electromagnetos, mesa vibratoria, entre otros. 3. Aparato en el que, mediante aire, agua o gravedad, se lleva a cabo la concentración mecánica de una mena.

Concentrador de espiral: Concentrador conformado por cinco o seis espirales, cerrados, en los cuales se efectúa la separación por efecto de la fuerza centrífuga. El funcionamiento de un concentrador de espiral está basado en el principio de concentración a través de un flujo laminar. Este fenómeno se fundamenta en el hecho que una partícula que se desliza en un canal circular a través de una película de fluido está sujeta, por lo menos, a cuatro fuerzas: 1. Fuerza gravitacional, 2. Fuerza centrífuga; 3. Empuje del líquido, y 4. Roce contra el fondo del canal.

Concentrador Knelson: Concentrador centrífugo que cuenta con un cono invertido, dotado en su interior con una serie de rebordes circulares. La rotación del cono desarrolla fuerzas del orden de 60 veces la fuerza de la gravedad. Al alimentar la pulpa se establece un lecho o zona de concentración donde las partículas más pesadas quedan atrapadas en el lecho. A través de unas perforaciones existentes en la pared del cono se inyecta agua para evitar la compactación del lecho y crear cierta fluidez que permita concentrar las partículas de mayor densidad. Los equipos más grandes de este tipo pueden tratar hasta 90 tm/día. Concentrador centrífugo: Son equipos que utilizan la fuerza centrífuga generada por la rotación a alta velocidad del depósito al que se alimenta el mineral en forma de pulpa. Uno de estos equipos es el concentrador Knelson.

Concentrados de batea: Fracción pesada de un sedimento que se obtiene por separación mecánica mediante movimiento circular de la batea para determinar el contenido de minerales metálicos o de alto peso específico.

Concordancia: Relación geométrica entre dos unidades estratigráficas superpuestas en las que existe paralelismo entre los materiales infra y suprayacentes.

Contaminación ambiental: Acción que resulta de la introducción por el hombre, directa o indirectamente, en el medio ambiente, de contaminantes, que tanto por su concentración, al superar los niveles máximos permisibles establecidos, como por el tiempo de permanencia, hagan que el medio receptor adquiera características diferentes a

las originales, perjudiciales o nocivas a la naturaleza, a la salud y a la propiedad.

Contrato de concesión: Son contratos administrativos celebrados entre el Estado (Ministerio de Minas y Energía, como representante de la Nación) y un particular (persona natural o jurídica) para efectuar, por cuenta y riesgo de éste, los estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal que puedan encontrarse dentro de una zona determinada y para explotarlos en los términos y condiciones establecidos en la legislación vigente al momento de su celebración. Comprende dentro de su objeto las fases de exploración técnica, explotación económica, beneficio de los minerales y cierre o abandono de los trabajos y obras correspondientes.

Costo (finanzas): 1. En un sentido amplio, es la medida de lo que se debe dar o sacrificar para obtener o producir algo. 2. Es un gasto, una erogación o un desembolso en dinero o especie, acciones de capital o servicios, hecho a cambio de recibir un activo. El efecto tributario del término costo (o gasto) es el de disminuir los ingresos para obtener la renta. 3. La transformación o la destrucción de valor en el transcurso de actividades onerosas destinadas a la producción de bienes o utilidad.

Costo de conversión: Equivale a los recursos invertidos en procesar el mineral de una etapa a otra del beneficio.

Costo por depreciación: Es el que resulta por la disminución en el valor original de la maquinaria.

Costo de inversión: Costo equivalente a los intereses correspondientes al capital invertido en una maquinaria, equipo o en cualquier actividad que conlleve a una mejora en la producción.

Costo por mantenimiento: Costos originados por todas las erogaciones necesarias para conservar la maquinaria en buenas condiciones, a efecto de que trabaje con rendimiento normal durante su vida económica. Se dividen en mayor y menor. En el mantenimiento mayor se consideran todas las erogaciones necesarias para efectuar reparaciones a la maquinaria en talleres especializados, o aquellas que deban realizarse en el campo, con personal especializado, y que requiera retirar la maquinaria de los frentes de trabajo por un tiempo considerable, incluye mano de obra, repuestos y renovación de partes de la maquinaria, así como otros materiales necesarios. En el mantenimiento menor se consideran todas las erogaciones necesarias para efectuar los ajustes rutinarios, reparaciones y cambios de repuestos que se efectúan en las propias obras; así como cambios de líquidos hidráulicos, aceites de transmisión, filtros, grasas y estopas. Incluye el personal y el equipo auxiliar que realizan estas operaciones de mantenimiento, los repuestos y otros materiales que sean necesarios.

Costo de operación: Es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los otros gastos relacionados con el desarrollo de la operación.

Crédito: Transacción que implica una transferencia de dinero con el compromiso de que será reembolsado transcurrido un determinado tiempo. Generalmente incluye el pago de

una remuneración en forma de intereses. El que transfiere el dinero se convierte en acreedor y el que lo recibe en deudor.

Cristalización: Formación de porciones de materia con estructura cristalina, y en ciertos casos con formas poliédricas, a partir de una solución o de un líquido, gas o sólido amorfo; cuando los átomos asumen una posición definitiva en la red cristalina, esto es lo que sucede cuando un metal líquido se solidifica. (Nota: la fatiga o falla de los metales debido a esfuerzos repetitivos es, algunas veces, erradamente atribuida a la cristalización).

Dd

Dato: Hecho verificable sobre la realidad; un dato puede ser una medida, una ecuación o cualquier tipo de información que pueda ser verificada (en caso contrario se trataría de una creencia).

Demanda: Precio al que el mercado está dispuesto a comprar (dinero). 2. Es la manifestación de la voluntad de comprar un número de unidades de un título valor a un precio dado en el mercado de valores, expresada por un comisionista según órdenes recibidas de algún cliente.

Depósito mineral: Concentración natural de sustancias minerales útiles, la cual bajo circunstancias favorables puede ser extraído con beneficio económico.

Derecho a explotar: Es el derecho que tiene el beneficiario de un título minero para realizar un conjunto de operaciones que tiene por objeto la extracción o la captación de los minerales yacientes en el suelo o el subsuelo dentro de un área determinada.

Desarrollo sostenible: 1. Desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida, a la productividad de las personas y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, es decir, fundado en medidas apropiadas para la preservación de la integridad de los ecosistemas, la protección del ambiente y el aprovechamiento de los elementos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. 2. Es el mejoramiento de la calidad de vida humana dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas; implican la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones.

Detrítico: Materiales sedimentarios conformados por fragmentos de rocas preexistentes.

Diagrama de operaciones (beneficio): (Diagrama de flujo). Es una representación gráfica de la secuencia de operaciones realizadas durante el procesamiento de un mineral.

Difracción de Rayos X: es una técnica instrumental no destructiva que sirve para analizar un amplio rango de materiales, tales como minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, compuestos farmacéuticos, cerámicos y semiconductores, entre otros.

Dique: Cuerpo tabular de roca ígnea intrusiva, relativamente largo y delgado, que rellena una fisura o una fractura profunda en rocas más antiguas, y las corta discordantemente (que corta a la estratificación de las capas). A veces pueden aparecer varios diques dispuestos paralelamente entre sí. Cuando son afectados por erosión pueden dar lugar a relieves descalzados, al ser los materiales del dique más resistentes que los circundantes, o formar una depresión en forma de fosa en el caso contrario.

Discordancia: Es una superficie de erosión entre dos cuerpos de roca y que representa un hiato o espacio significativo en la sucesión estratigráfica.

Dorsales: Conocidas también como dorsales meso oceánicas, son elevaciones submarinas o sistemas montañosos de las cuencas oceánicas, a lo largo de las cuales se produce episodio de rifting, que implica formación de corteza oceánica nueva, a medida que el magma fluye en forma ascendente y se solidifica. Las dorsales están relacionadas con procesos de tectónica de placas del tipo divergente, que implica que el fondo oceánico (corteza oceánica) vaya creciendo y se expanda.

Ee

Empresa: Unidad institucional o combinación más pequeña de unidades productivas institucionales que abarca y controla, directa o indirectamente, todas las funciones necesarias para realizar sus actividades de producción. Depende de una sola entidad propietaria o de control; puede, sin embargo, ser heterogénea en cuanto a su actividad económica, así como a su emplazamiento. Para Colombia, corresponde a la persona jurídica.

Endógeno: Hace referencia a todos aquellos procesos geológicos que se generan al interior de la tierra, por ejemplo: Metamorfismo, cristalización magmática y segregación magmática.

Erosión: 1. Fenómeno de descomposición y desintegración de materiales de la corteza terrestre por acciones mecánicas o químicas. 2. Pérdida física de suelo transportado por el agua o por el viento, causada principalmente por deforestación, laboreo del suelo en zonas no adecuadas, en momentos no oportunos, con las herramientas impropias o utilizadas en exceso, especialmente en zonas de ladera, con impactos adversos tan importantes sobre el recurso como la pérdida de la capa o del horizonte superficial con sus contenidos y calidades de materiales orgánicos, fuente de nutrientes y cementantes que mantienen una buena estructura y, por lo tanto, un buen paso del agua y el aire. En la minería la erosión hídrica es la más importante y puede ser laminar, en regueros o surcos y en barrancos o cárcavas. 3. Conjunto de procesos externos (exógenos) que mediante acciones físicas y químicas (como agua, hielo, viento), transforman las formas creadas por los procesos endógenos.

Espesor: Ancho o grosor de una veta, estrato u otros; medido perpendicularmente o normal al buzamiento y el rumbo. El espesor real es siempre el ancho de la veta, estrato u otro, en su punto más delgado. El espesor real de una veta muestreada puede hallarse según la fórmula $e = h \times \text{sen } \alpha$, donde h = espesor horizontal, e = espesor real, y α = ángulo de buzamiento. En esta fórmula, el ángulo " α " se

sabe por mediciones previas, y el ancho horizontal puede medirse con un nivel. Es importante que el ancho horizontal sea medido a ángulo recto con respecto al rumbo.

Estratificación: (1.) Estructuración o arreglo en capas de una roca determinada. (2.) Proceso de arreglo de las rocas sedimentarias, originado por algún cambio en la naturaleza de los materiales que están siendo depositados o en las condiciones del ambiente de sedimentación.

Estudio de factibilidad: Comprende toda la información con la que se realiza la evaluación de un proyecto, que habilita para tomar la decisión definitiva sobre la realización o sobre el proyecto mismo. El estudio de factibilidad debe suministrar una base técnica económica y comercial para tomar la decisión sobre inversiones a realizarse en un proyecto minero industrial, lo mismo que sobre sus condiciones operativas y procedimientos asociados.

Estudio de factibilidad minera: Estudio en el cual se recopila la información geológico - minera obtenida desde el reconocimiento hasta la exploración detallada, se modela el yacimiento, se diseña las explotaciones, se determina el volumen de reservas recuperables, se evalúa la calidad técnica y la viabilidad económica del proyecto de explotación minera. Este estudio permite verificar todas las informaciones geológicas, técnicas, ambientales, jurídicas y económicas relativas al proyecto, lleva a la toma de decisiones en materia de inversiones y constituye un documento aceptable por los bancos para las gestiones de financiación de un proyecto.

Estudio de Impacto Ambiental (E.I.A.) 1. Documento técnico que debe presentar el titular del proyecto del cual se efectuará la declaración de impacto ambiental, que es recopilado antes de iniciar un proyecto; este estudio examina los efectos que tendrán las actividades del proyecto sobre las áreas circundantes naturales de un terreno. 2. Instrumento de planificación ambiental para la toma de decisiones con respecto al desarrollo de acciones o proyectos, exigido por la autoridad ambiental, carácter preventivo, cuyo propósito es identificar, valorar y definir las medidas de preservación, mitigación, control, corrección y compensación de los impactos o consecuencias, y efectos ambientales que las acciones de un proyecto, obra o actividad pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. El contenido del E.I.A. es: a) Resumen del E.I.A., b) Descripción del proyecto, c) Descripción de los procesos y las operaciones, d) Delimitación, caracterización y diagnóstico de las condiciones ambientales de las áreas de influencia, e) Estimación y evaluación de impactos ambientales, f) Plan de manejo ambiental para prevenir, mitigar, corregir y compensar posibles impactos. Debe incluir plan de seguimiento y monitoreo, y plan de contingencia.

Estudio de prefactibilidad: Es una evaluación preliminar sobre la idea de un proyecto. Es la definición de un plan sobre el cual trabajar, con cálculo de los costos, basado en datos físicos y experimentales limitados. En términos generales, este tipo de estudio consiste en realizar una evaluación más profunda de las alternativas encontradas viables y en determinar la bondad de ellas. Su principal finalidad es tomar la decisión sobre la viabilidad o no del proyecto, o sobre la necesidad de análisis más detallados.

Estudios geológicos: Recopilación de información geológica de un área o una región, con un objetivo primordial (minería, exploración minera, obras civiles, entre otros). Un estudio geológico provee información sobre litología, estructuras, ocurrencias minerales, entre otros. Un estudio geológico puede ser general o detallado, por ejemplo, en el caso de túneles para obras civiles, un estudio geológico suministra información de la zona a perforar metro a metro, con detalles de la estructura, permeabilidad, niveles freáticos, dureza de las distintas unidades rocosas y otros, para contar con la solución a los problemas que se van a encontrar antes de que la perforación alcance las zonas donde existan estos posibles problemas, para salvar de esta manera tiempo, dinero y hasta vidas humanas.

Exógeno: Hace referencia a todos los procesos geológicos superficiales. Por ejemplo, la meteorización.

Ff

Filón: Un filón es el relleno de minerales que ha colmado una fisura en la corteza terrestre.

Fluidos hidrotermales: Son fluidos que pueden contener agua a alta temperatura y volátiles, químicamente activos, y que pueden tener origen magmático o formados por aguas meteóricas que se calientan y ascienden. Los fluidos hidrotermales pueden transportar y depositar metales, produciendo alteraciones químicas en las rocas con las cuales interactúan.

Flujo de caja (cash flow): Flujo de caja de una empresa que refleja los cobros y pagos del negocio en un período determinado. No incluye partidas de la cuenta de resultados que no corresponden a movimientos de caja, como, por ejemplo, amortizaciones y provisiones.

Fundición: Proceso pirometalúrgico mediante el cual un metal es llevado del estado sólido al líquido.

Gg

Galerías: Túneles horizontales al interior de una mina subterránea.

Ganga: (1.) Minerales que no presentan interés económico en un yacimiento, aquella parte de una mena que no es económicamente deseable, pero que no puede ser desechada en minería. Ella es separada de los minerales de mena durante los procesos de concentración. Este concepto se opone al de mena. Es el material estéril o inútil que acompaña al mineral que se explota. Generalmente son minerales no metálicos, o bien la roca encajante y muy ocasionalmente pueden ser minerales metálicos. Los minerales de ganga son aquellos que no son beneficiables, pero en algunos casos estos minerales pueden llegar a ser económicamente explotables (al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos) y, por lo tanto, dejarían de ser ganga, por ejemplo, el mineral de ganga es galena. 2. La roca de derroche que rodea un depósito de mineral; también la materia de menor concentración en un mineral.

Geólogo: Profesional que tiene conocimientos sobre la composición, la estructura y la evolución de la Tierra; conoce la distribución de las rocas en el espacio y en el tiempo.

Esta distribución de las rocas y los minerales permite al geólogo encontrar yacimientos de minerales, petróleo y gas. Además, esta disposición permite conocer la geología para poder asentar edificios, puentes y carreteras sin riesgo para las vidas humanas.

Geoquímica: 1. Estudia la distribución, la dispersión en la naturaleza (ciclos) y la concentración de elementos químicos en minerales, cuerpos mineralizados, rocas, suelos, aguas y atmósfera, y toma como base las propiedades de sus iones y átomos. 2. Estudio espacial y temporal de los elementos químicos y sus especies, y de los procesos fisicoquímicos que controlan su movilidad, su transformación y su acumulación en el medio ambiente. 3. Estudio de los elementos químicos y de los procesos en los cuales intervienen, al interior y sobre la superficie terrestre.

Geoquímica de minerales: Geoquímica de los metales principales y trazas componentes de los minerales.

Grava (rocas sedimentarias): Material redondeado producto de la desintegración, natural o artificial, de cualquier tipo de roca, especialmente de aquellas ricas en cuarzo, cuyo tamaño es superior a dos (2) milímetros de diámetro.

Hh

Horizonte de evaluación del proyecto: Tiempo definido para medir la bondad financiera del proyecto.

Ii

Impacto Ambiental: 1. Alteración o cambio neto parcial, positivo o negativo (adverso o benéfico), en el medio ambiente o en alguno de sus componentes, resultante de actividades, productos o servicios de una organización. Un impacto ambiental conlleva a un problema ambiental. La intensidad de la alteración está relacionada con la capacidad de acogida del territorio donde se desarrolla la actividad impactante. 2. Efecto que las actuaciones humanas producen en el medio.

Impuesto: Pago obligatorio de dinero que exige el Estado a los individuos o empresas que no están sujetos a contraprestación directa, con el fin de financiar los gastos propios de la administración del Estado y la provisión de bienes y servicios de carácter público, tales como administración de justicia, gastos de defensa, subsidios y muchos otros. Sólo por ley pueden establecerse los impuestos de cualquier naturaleza que sean, señalarse sus modalidades, su repartición o su supresión. Las dos categorías fundamentales son los impuestos directos e indirectos.

Impuesto sobre la renta: Contribución que grava el ingreso de las personas y entidades económicas. El impuesto sobre la renta incluye el gravamen al trabajo, al capital y la combinación de ambos. Es un impuesto directo porque incide en forma específica sobre el ingreso de las personas y de las sociedades mercantiles. En Colombia, la tasa del impuesto a la renta es del 33% y se paga anualmente.

Información: Acción y efecto de adquirir conocimiento o formación mediante el aprendizaje y el entendimiento. La información es un proceso por el cual, del conjunto de

datos accesibles, se extrae y elabora aquel subconjunto que tiene relevancia para el sujeto que se informa.

Infraestructura minera: Conjunto de bienes, instalaciones y servicios establecidos (agua, pozos sépticos, acueducto, energía, otros), básicos para el normal desarrollo de una operación minera. La infraestructura minera, como un todo, constituye un gran sistema compuesto por subsistemas, que deben considerarse desde diferentes puntos de vista y no exclusivamente desde el económico. Un subsistema importante es, por ejemplo, el transporte, que está compuesto por caminos, carreteras, vías férreas, aeropuertos, puertos, entre otros, e incluye vehículos, instalaciones y otros muchos bienes más y, desde luego, organizaciones que incluyen a las personas que las manejan.

Ingresos: Entrada de dinero a una empresa derivada de la venta de sus productos, servicios, operaciones financieras y otros.

Interés: Compensación que se debe dar a un sujeto económico por su disposición a desprenderse de dinero, que se formaliza a través de las operaciones de crédito o de préstamo.

Inversión: Bienes comprados por las personas o las empresas para aumentar su stock de capital. Inversión en bienes de equipo. Equipos y estructuras que compran las empresas para utilizarlas en la producción futura.

Inversionista: Es quien coloca su dinero en un título valor o alguna alternativa que le genere un rendimiento futuro, ya sea una persona o una sociedad.

Inclusiones fluidas: Son fluidos que se encuentran atrapados dentro de un mineral con estructura cristalina. Ocurren en cristales que se forman a partir de fluidos (por ejemplo agua o magma) y no suelen sobrepasar 0.1 mm de diámetro. Según sus orígenes se pueden distinguir tres tipos de inclusiones fluidas: Primarias: Estas inclusiones se forman durante el crecimiento del cristal y pueden ocurrir aisladas, en pequeños grupos de inclusiones fluidas sin orientación particular o alineadas paralelamente a las zonas de crecimiento del cristal. Secundarias: Se forman en fracturas en cristales que han sido penetradas por fluidos para luego sellarse mediante la autoreparación del cristal. Ocurren como lineamientos de inclusiones que llegan a tocar la superficie del cristal e incluso a veces continuar en cristales aledaños. Seudosecundarias: Se trata de inclusiones que por sus lineamientos parecen secundarias aunque en realidad se trata de inclusiones primarias. Se les considera un subgrupo de las inclusiones primarias. De las inclusiones fluidas se puede obtener información como la temperatura y presión a la cual se formó el mineral que contenedor además del tipo de fluido del cual se formó y la densidad de tal fluido.

Ll

Licencia ambiental: 1. Es la autorización que otorga la autoridad competente a una persona natural o jurídica, para la ejecución de un proyecto, obra o actividad. En ella se establecen los requisitos, las obligaciones y las condiciones que el beneficiario debe cumplir para prevenir,

mitigar o corregir los efectos indeseables que el proyecto, obra o actividad autorizada pueda causar en el ambiente. 2. Autorización que otorga la autoridad competente para la construcción, el montaje, la explotación objeto del contrato y el beneficio y para las labores adicionales de exploración durante la etapa de explotación. Se otorga de manera global y comprende además los permisos, autorizaciones y concesiones de carácter ambiental para hacer uso de los recursos necesarios en el proyecto minero.

Litificación: Proceso mediante el cual un material se convierte en roca compacta en la corteza terrestre.

Lixiviable: Material extractable o tratable mediante técnicas de lixiviación.

Lixiviación (beneficio): Proceso hidro-metalúrgico mediante el cual se realiza la disolución selectiva de los diferentes metales que contiene una mena, por medio de una solución acuosa que contiene un reactivo químico apropiado.

Lixiviación (geoquímica): 1. Remoción de elementos químicos desde un material natural (por ejemplo, suelo), mediante su disolución en agua y su transporte o movilización descendente a través de un terreno o medio sólido poroso. 2. Proceso natural mediante el cual, por acción del agua, se liberan y transportan elementos a través de un perfil (suelo) hacia los horizontes inferiores.

Lixiviación a presión: Disolución selectiva de un mineral en medio acuoso ácido o básico, mediante la aplicación de altas presiones y temperaturas. El proceso se realiza en equipos denominados autoclaves.

Lixiviación biológica: 1. Proceso de recuperación de metales de minerales de bajo tenor que se basa en liberar una solución de los metales con la utilización de bacterias. 2. Es el proceso de usar bacterias que ocurren naturalmente para acelerar la oxidación de minerales sulfídicos que contienen algunas formas de oro y a su vez previenen que los químicos lixiviantes alcancen el oro. Cuando la mena es expuesta a grandes concentraciones de estos organismos que consumen sulfuros, se pueden remover cantidades suficientes de material sulfídico para luego recuperar el oro mediante procesos normales de lixiviación. Lixiviación por percolación: Proceso de lixiviación en el cual la solución lixivante y las aguas de lavado pueden circular por efecto de la gravedad a través de las partículas de mineral en el interior de un tanque o en el suelo y disolver el metal de interés. Generalmente, las partículas del mineral apto para este proceso deben tener un tamaño entre 6 y 9 mm.

Lixiviados: Solución obtenida por extracción o lixiviación, tal es el caso de la solución resultante de la percolación descendente de agua meteórica a través del suelo o de desechos sólidos que contiene sustancias solubles (por ejemplo, en un relleno sanitario).

Mm

Manejo de aguas (industria minera): Proceso en el que se produce un descenso de la tabla de agua subterránea, en un área minera, mediante bombeo de pozos para luego ser

transportada y utilizada o recargada al sistema de aguas subterráneas mediante infiltración, reinyección o irrigación.

Medio ambiente: Conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas que rodean a un organismo.

Mena: (1.) Mineral de base del que es posible extraer otro mineral de mayor pureza e importancia económica. La molibdenita (sulfuro de molibdeno), por ejemplo, es la principal mena del molibdeno. (2.) Minerales que presentan interés económico en un yacimiento. Este concepto se opone al de ganga. En general, es un término que se refiere a minerales metálicos y que designa al mineral del que se extrae el elemento de interés. Para poder aprovechar mejor la mena, suele ser necesario su tratamiento, que en general comprende dos etapas: el tratamiento en el sitio de mina para aumentar la concentración del mineral en cuestión (procesos hidrometalúrgicos, flotación, entre otros), y el tratamiento metalúrgico final, que permita extraer el elemento químico en cuestión (tostación, electrólisis, entre otros).

Metalogénesis: Proceso de formación u origen de yacimientos minerales metálicos.

Metalogenia: Bajo este concepto se define a la rama de la geología que estudia el origen de los yacimientos minerales, sus relaciones con las rocas que los contienen, las estructuras que los controlan y las leyes que gobiernan la distribución de los depósitos minerales en la corteza terrestre. Esta definición considera todas las variables en el espacio y en el tiempo.

Metalogenética (provincia metalogenética): son regiones en las que una serie de depósitos minerales poseen características comunes.

Metalografía: descripción y clasificación de metales mediante el estudio de la estructura de un metal-aleación y la relaciona con la composición química, con las propiedades mecánicas y físicas.

Metalurgia: (1.) Estudio y tecnología de los metales y aleaciones. (2.) Es la ciencia de extraer metales de las respectivas menas por medios mecánicos y procesos químicos, y de prepararlos para su uso.

Metamorfismo: Proceso por el cual se producen profundas transformaciones mineralógicas, estructurales y químicas sobre rocas o minerales preexistentes, debido a bruscas variaciones en las condiciones de presión y temperatura, y que da lugar a la formación de un nuevo tipo de rocas llamadas metamórficas. Esencialmente es isoquímico y al estado sólido, con cristalización de nuevos minerales, llamados neoformados, y adquisición de texturas y estructuras particulares diferentes de las de la roca originaria. Cualquier roca puede ser afectada por el metamorfismo, ya sea ígnea, sedimentaria o metamórfica. Hay varios esquemas para distinguir diferentes tipos de metamorfismo: 1) según la extensión sobre la cual tuvo lugar el metamorfismo: metamorfismo regional y local. 2) según las condiciones (ambiente) geológicas: orogénico, de enterramiento, de fondo oceánico, dinámico, de contacto y dinamotérmico. 3) según el principal factor controlante durante el metamorfismo (temperatura (T), presión (P),

presión de agua (PH₂O), esfuerzos, deformaciones); térmico. 4) según la causa particular del metamorfismo: de impacto, hidrotermal, por quema de combustibles naturales (raro), por rayos (descargas eléctricas naturales), en esta categoría se puede incluir el metamorfismo de contacto, el pirometamorfismo y el metamorfismo asociado con el emplazamiento de cuerpos tectónicos calientes. 5) según si el metamorfismo es el resultado de un único o de múltiples eventos: monometamorfismo, polimetamorfismo. Una roca o complejo de rocas pueden presentar los efectos de más de un evento metamórfico (por ejemplo, dos metamorfismos regionales o un metamorfismo de contacto y uno regional). 6) según si el metamorfismo está asociado con un incremento o descenso de la temperatura: prógrado, retrógrado.

Metasomatismo: (1.) Proceso, prácticamente simultáneo, de solución capilar y deposición, por medio del cual un nuevo mineral o agregado de minerales, de composición química parcial o totalmente diferente, se desarrolla en el cuerpo de un antiguo mineral o agregado de minerales. (2.) Proceso por el cual un mineral es reemplazado por otro de diferente composición química, gracias a un grupo de reacciones que permiten la introducción de material de fuentes externas. (3.) Proceso de solución y deposición simultánea, que ocurre a través de pequeñas aperturas generalmente submicroscópicas, y principalmente por acción de soluciones acuosas hipogénicas, que da como resultado un nuevo mineral de composición total o parcialmente diferente, y que puede desarrollarse en el cuerpo de un antiguo mineral o agregado de minerales.

Metilmercurio: El metilmercurio (a veces escrito como metil-mercurio) es un catión organometálico de fórmula química [CH₃Hg]⁺. Se trata de un compuesto neurotóxico capaz de concentrarse en el organismo (bioacumulación) y concentrarse así mismo en las cadenas alimentarias (biomagnificación),^{1,2} que ocupa un lugar especial debido a que un cierto porcentaje de la población mundial está expuesta a él de una forma u otra y su toxicidad está mejor caracterizada por la investigación médica que la de otros compuestos orgánicos del mercurio.

Mineral: sustancia homogénea originada por un proceso genético natural con composición química, estructura cristalina y propiedades físicas constantes dentro de ciertos límites. 2. Individuos minerales que se caracterizan por una estructura cristalina determinada y por una composición química, que pertenecen a un rango de variaciones continuas y que se encuentran en equilibrio bajo unas condiciones termodinámicas determinadas. 3. El Código de Minas define el mineral como la sustancia cristalina, por lo general inorgánica, con características físicas y químicas propias debido a un agrupamiento atómico específico.

Mineral de alteración: Mineral que se forma como producto de reacciones fisicoquímicas de fluidos hidrotermales o de actividad ígneo - volcánica con minerales que componen las rocas encajantes. Se excluyen los minerales formados por meteorización o intemperismo. Los tipos de alteración hidrotermal más comunes son: potásica, skarn, fílica, propílica, argílica, subpropílica, albitización, piritización, carbonatización, ceolitización, alunitización, caolinización, silicificación, dolomitización, turmalinización, epidotización, argílica avanzada, sericitica, cloritización.

Mineral asociado: Entiéndase por minerales asociados aquellos que hacen parte integral del cuerpo mineralizado objeto del contrato de concesión. Mineral de ganga: 1. Minerales que no presentan interés económico en un yacimiento, aquella parte de una mena que no es económicamente deseable, pero que no puede ser desechada en minería. Ella es separada de los minerales de mena durante los procesos de concentración. Este concepto se opone al de mena. Es el material estéril o inútil que acompaña al mineral que se explota. Generalmente son minerales no metálicos, o bien la roca encajante y muy ocasionalmente pueden ser minerales metálicos. Los minerales de ganga son aquellos que no son beneficiables, pero en algunos casos estos minerales pueden llegar a ser económicamente explotables (al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos) y, por lo tanto, dejarían de ser ganga, por ejemplo, el mineral de ganga es galena. 2. La roca de derroche que rodea un depósito de mineral; también la materia de menor concentración en un mineral.

Mineral de mena: Mineral que puede utilizarse para obtener uno o más metales; aunque también pueden estar en forma de metal nativo o como combinaciones de los metales. Los minerales de mena son aquellos que pueden ser beneficiados, lo cual hace que tengan importancia económica, es decir, económicamente explotables bajo condiciones normales, por ejemplo, oro nativo.

Mineralización: Procesos naturales por los cuales los minerales son introducidos en las rocas. Los procesos de mineralización más conocidos son: segregación magmática, diferenciación magmática, hidrotermal, sublimación, metasomatismo de contacto, metamorfismo, sedimentación, evaporación, concentración residual, oxidación y enriquecimiento supergénico, concentración mecánica, eólico.

Mineralogía: Ciencia que estudia los minerales. La manera en que se combinan, cristalizan, presentan y distribuyen estos compuestos, sus diversas características físicas y químicas, su origen y su distribución en la corteza terrestre. Está ligada a la geología (que estudia los procesos físicos que determinaron la formación de la Tierra).

Minería formal: Actividad cuyas unidades productivas desarrollan las labores mineras con título minero vigente o bajo el amparo del mismo, instrumento ambiental y cumplen con los parámetros técnicos, ambientales, económicos, laborales y sociales, de la industria, definidos por la legislación vigente en estos aspectos.

Minería legal: Es la minería amparada por un título minero, que es el acto administrativo escrito mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo mineros de propiedad nacional, según el Código de Minas. El título minero deberá estar inscrito en el Registro Minero Nacional.

Modelo: Una abstracción de la realidad. Un modelo es estructurado como un conjunto de reglas y procedimientos utilizados para derivar nueva información que puede ser analizada para ayudar a resolver problemas de planeación.

Molienda: Operación de reducción de tamaño de un

mineral realizada posteriormente a la trituración; puede ser de tipo primario o secundario según el tamaño requerido del producto.

Molienda autógena: Proceso de reducción de tamaño llevado a cabo en un cilindro rotatorio en el cual el efecto molidor es causado por la fricción mutua entre las partículas de mineral.

Molienda semiautógena (SAG): Método de molienda de roca y minerales en el cual el medio molidor está compuesto por trozos grandes del mismo material que se intenta moler y bolas de acero.

Molino: Máquina usada en la molienda de minerales.

Molino de arrastre: Un molino que consiste en una o más piedras grandes arrastradas por un lecho circular, que se utiliza para moler minerales.

Molino de barras: Molinos para molienda fina (última etapa de molienda en la que el material que se entrega pasa por un tamiz de malla de 1 milímetro cuadrado de sección) similares a los molinos de bolas. Son equipos cilíndricos que tienen en su interior barras de acero que cuando el molino gira, caen sobre el material.

Molino de bolas: Cilindro metálico cuyas paredes están reforzadas con material fabricado en aleaciones de acero al manganeso. Estas molduras van apernadas al casco del molino y se sustituyen cuando se gastan. El molino gira y la molienda se realiza por efecto de la bolas de acero al cromo o manganeso que, al girar con el molino, son retenidas por las ondulaciones de las molduras a una altura determinada, desde donde caen y pulverizan por efecto del impacto, el material mineralizado mezclado con agua.

Molino de guijarros: Molino cilíndrico, similar al molino de barras, con sólo un compartimiento y una carga de partículas de mineral cribadas como medio de molienda. Muy usados en minas de oro de Sudáfrica. Se utilizan cuando la proporción de tamaños gruesos es demasiado baja, donde la fracción gruesa de la alimentación se separa y el resto se tritura hasta un tamaño más fino, y se introduce todo en el molino de guijarros para completar la molienda fina.

Molino tubular: Aparato que consiste en un cilindro giratorio, lleno aproximadamente hasta la mitad de varillas y bolas de acero, en el cual se introduce la mena triturada para obtener una molienda más fina.

Oo

Oferta: 1. Precio al cual se ofrece un instrumento (título) para la venta. En la cotización de determinado título el offer constituye el precio más bajo que un vendedor está dispuesto a recibir por dicho título en ese momento dado. 2. Situación por la cual una sociedad hace público su deseo de adquirir una participación mayoritaria en otra.

Onza troy: Unidad de masa en la cual son comercializados los metales preciosos tales como oro y platino. Una onza troy equivale a 31.103 gramos.

Pp

Permiso ambiental: Autorización que concede la autoridad ambiental para el uso o el beneficio temporal de un recurso natural.

Petrografía (Petrología): Rama de la geología que estudia las rocas desde el punto de vista genético (origen) y su relación con otras rocas..

Planta de procesamiento de minerales: Instalación industrial o semi industrial en la cual un mineral es tratado para la recuperación de los metales o compuestos de interés mediante una secuencia de operaciones o procesos unitarios, y que utiliza algún tipo de energía (eléctrica, mecánica, hidráulica o térmica) para la operación de los equipos o máquinas.

Presión de vapor: Es la presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas.

Producción (aspectos económicos): Es la suma del valor de todos los bienes y servicios producidos por los agentes económicos residentes, ofrecidos para diferentes usos, incluido el consumo intermedio.

Producción (industria minera): Fase del Ciclo Minero que tiene como objetivo la extracción, la preparación o el beneficio, el transporte y la comercialización del mineral. Es la fase de mayor duración, generalmente entre 10 y 30 años, y depende del nivel de reservas, tipo de explotación y condiciones de la contratación.

Productividad: Relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía, maquinaria, entre otros.

Producto (industria minera): Cantidad de mineral obtenido en un proceso o una operación y que puede servir a la vez como alimento para un tratamiento posterior.

Propiedades físicas: Son las características que se pueden medir u observar sin alterar la composición de la sustancia: Ej: Color, olor, masa, forma, solubilidad, densidad, punto de fusión, etc.

Propiedades químicas: Son aquellas que pueden ser observadas cuando una sustancia sufre un cambio en su composición Ej: oxidación

Proyecto de Inversión: Un proyecto de inversión es un plan que contiene un conjunto de actividades coordinadas entre sí para posibilitar el cumplimiento de un propósito específico o la materialización de una idea. En este sentido, los proyectos son un instrumento básico de información para la toma de decisiones de inversión.

Pruebas de planta piloto: Pruebas que buscan identificar las mejores condiciones de operación de una planta de beneficio del mineral.

Rr

Recuperación (industria minera): Relación entre el peso del componente útil en el concentrado de mineral y el del mismo componente en el alimento de la misma operación unitaria. Generalmente se expresa en porcentaje y en ocasiones sirve como indicativo del rendimiento de una operación de preparación de minerales.

Recursos naturales: Son elementos de la naturaleza susceptibles de ser utilizados por el hombre para la satisfacción de sus necesidades o intereses económicos, sociales y espirituales. Los recursos renovables se pueden renovar a un nivel constante. Los recursos no renovables son aquellos que forzosamente perecen en su uso.

Recursos naturales no renovables: Son los recursos que no tienen capacidad de recuperarse o regenerarse después de ser aprovechados, posiblemente se regeneren en escalas de tiempo geológico grandes.

Recursos naturales renovables: Son aquellos cuya fuente es abundante y se generan a una velocidad tal, que pueden ser utilizados repetidas veces por el hombre, sin arriesgar su agotamiento.

Regalía: 1. Compensación por el uso de la propiedad ajena basada sobre un porcentaje acordado de los ingresos resultantes de su uso. Por ejemplo, un fabricante por el uso de su maquinaria en la fábrica de otra persona. Generalmente, las regalías se asocian con la actividad extractiva, más especialmente con la actividad petrolera. 2. De conformidad con los artículos 58, 332 y 360 de la Constitución Política, toda explotación de recursos naturales no renovables de propiedad estatal genera una regalía como contraprestación obligatoria.

Relave: (o cola) es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (o sin valor comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico

Roca encajante: (yacimientos minerales): Unidad o cuerpo de roca que contiene un recurso mineral.

Rocas metamórficas: Toda roca que en estado sólido ha sufrido cambios texturales y composicionales (físico - químicos). Causados por variaciones de presión y temperatura. Según el grado de metamorfismo estos cambios pueden ser o no más evidentes.

Rocas Sedimentarias: Son las que se forman por la acumulación y compactación de sedimentos, en un proceso llamado litificación. Se presentan estratificadas y pueden contener fósiles.

Rocas volcánicas, ígneas o magmáticas: Rocas ígneas que se forman a partir de la consolidación de material del magma que fluyó hacia la superficie terrestre (lava) o fue lanzado violentamente (de forma explosiva) desde un volcán (piroclastos, como, por ejemplo, ceniza). Una característica importante de las rocas volcánicas es que tienen una tasa de

enfriamiento alta, es decir, el paso desde magma a roca es rápido. Las formas de solidificación de las vulcanitas están estrechamente relacionadas con su contenido en SiO₂, con el contenido gaseoso de los fundidos respectivos y con la viscosidad de la lava.

Ss

Sector: Conjunto de empresas o instituciones que conforman una misma actividad económica.

Sedimento: Material sólido que se asienta desde el líquido cuando se encuentra en suspensión.

Silicificación: Introducción de sílice o remplazamiento de componentes por sílice. La sílice formada o introducida es generalmente cuarzo de grano fino, calcedonia u ópalo, y puede rellenar poros o remplazar minerales existentes. El término es aplicable a procesos magmáticos, hidrotermales o diagenéticos.

Sistema General de Riesgos Profesionales: Conjunto de normas, entidades y procedimientos destinados a prevenir, proteger y atender a los trabajadores, de los efectos de las enfermedades y los accidentes que puedan ocurrir con ocasión o como consecuencia del trabajo

Sostenibilidad: Es el deber de manejar adecuadamente los recursos naturales renovables, y la integridad y el disfrute del ambiente; es compatible y concurrente con la necesidad de fomentar y desarrollar racionalmente el aprovechamiento de los recursos mineros como componentes básicos de la economía nacional y el bienestar social.

Sulfuros: se refiere a minerales formados a partir del enlace entre el azufre y otro elemento químico, en especial un metal (Zn, Cu, Pb, Hg, Sb, Bi, Ni).

Tt

Tasa de descuento : La tasa de descuento también la podemos definir como el costo de oportunidad en que se incurre al tomar la decisión de invertir en el proyecto en lugar de hacerlo en otras alternativas que nos pueda ofrecer el mercado financiero.

Tasa Interna de Retorno - TIR: Indicador de la rentabilidad de un activo financiero. Es aquella tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de ingresos futuros (intereses, amortizaciones parciales), con el costo de la inversión inicial. Corresponde al rendimiento que obtendría el inversionista de mantener el instrumento hasta su vencimiento, bajo el supuesto que reinvierte los flujos de ingresos a la misma tasa. En el caso de instrumentos de renta fija es equivalente al rendimiento a vencimiento.

Tenor: Porcentaje neto de mineral económicamente recuperable de una mena.

Tenor de cabeza: La ley promedio de la mena alimentada al molino. Se refiere al dato de tenor del material que entra a la planta de beneficio, y se calcula tanto para el producto como para los co-productos y subproductos.

Tenor de colas: Tenor, ley o concentración de mineral

en las colas que se desechan al final de todo el proceso mineralúrgico (beneficio).

Título minero de exploración: Es el acto administrativo que confiere a una persona el derecho exclusivo a realizar dentro de una zona determinada, trabajos dirigidos a establecer la existencia de minerales y sus reservas en calidad y cantidad comercialmente explotables.

Título minero de explotación: Es el derecho que tiene el titular de la licencia de exploración que ha sido clasificado en forma definitiva como de pequeña minería para convertir su título en licencia de explotación.

Tonelada métrica : Unidad de peso equivalente a 1.000 kg ó 2.205 libras.

Trituración: Reducción inicial del tamaño del mineral hasta un grado que permita su molienda.

Trituración primaria: Proceso por el cual el mineral es triturado entre 1/2 a 1/6 de su tamaño original, en preparación a la siguiente etapa de reducción (segunda o tercera etapa de trituración o circuito de molienda).

Trituración primaria, secundaria y terciario: Etapas en las que se realiza la trituración o la reducción de tamaño de las rocas y los minerales con el fin de reducir los costos de energía; la reducción en una sola etapa incurre en mayores gastos energéticos. Convencionalmente denominadas trituración gruesa, media y fina (primaria, secundaria y terciaria).

Trituración selectiva: Proceso que consiste en evitar triturar excesivamente las partículas que ya han alcanzado el tamaño deseado. Lo que se consigue cribando o tamizando previamente el material triturado.

Trituradora: Maquinaria para romper y reducir de tamaño fragmentos o trozos grandes de roca y otros materiales.

Trituradora de cono: Máquina que tritura el mineral en el espacio entre un cono de trituración, montado en forma excéntrica, y otro cono truncado fijo llamado tazón.

Trituradora de mandíbulas: Máquina que utiliza placas de acero (una fija y otra móvil) para romper las rocas. La trituradora de mandíbulas rompe el material al presionarlo entre las dos placas de acero (mandíbulas) que forman una cámara en forma de cuña.

Trituradora de rodillos: Trituradora en la cual el material es roto entre dos rodillos rotatorios, que se mueven en sentido contrario a las manecillas del reloj; y pasa a través de una ranura en el fondo de la máquina. Cuando la presión es muy grande, los rodillos se separan aumentando la distancia entre ellos y, por lo tanto, el tamaño de grano final. Se utiliza para la trituración de menas quebradizas (frágiles) antes de la separación gravimétrica hidromecánica de fracciones de grano medio.

Uu

Utilidad neta: Ganancia obtenida por una empresa en un período determinado después de haber pagado impuestos y otros gastos.

Vv

Valor en libros: Importe por el que aparece registrado un activo en los libros contables de una empresa.

Ventas: Importe de todas las ventas que ha efectuado una empresa en un período dado, ya sea que se hayan realizado de contado o a crédito

Veta: Cuerpo de roca tabular o laminar que penetra cualquier tipo de roca. Muchos depósitos de minerales importantes se presentan en formas de vetas junto con otros minerales asociados.

Vida útil : La vida útil de un equipo es el lapso durante el cual éste está en condiciones de realizar el trabajo para el cual fue diseñado, sin que los gastos de su operación excedan los rendimientos económicos obtenidos por el mismo, por mínimos que éstos sean. La vida útil de una máquina depende de múltiples y complejos factores, entre los que se pueden enumerar: fallas de fabricación, falta de protección contra los agentes atmosféricos, desgastes excesivos debido a uso anormal, vibraciones y fricción de sus partes móviles, manejo de diferentes operadores e irresponsabilidad de éstos, descuidos técnicos, entre otros.

Vida útil del proyecto: Tiempo durante el cual se espera que el proyecto genere beneficios.

Zz

Zona de falla: Área relacionada con un plano de falla que puede consistir hasta de cientos de metros a los lados del plano de falla. Consiste de numerosas fallas pequeñas en las cataclasitas y milonitas asociadas.

Panorámica de la cordillera donde se ubica una bocamina en la zona minera de Íquira (Huila).
Fotografía tomada por: Jaime Mojica / Servicio Geológico Colombiano



- REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- McCourt, W. J., Aspden, J. A., Brook, M. 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion. *Journal of the Geological Society, London* 141: 831-845.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 100 de 1993. "Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones". Bogotá, 1993.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 685 de 2001. "Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones". Bogotá, 2001.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 1607 de 2012. "Por la cual se expiden normas en materia tributaria y se dictan otras disposiciones". Bogotá, 2012.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 1819 del 29 de diciembre de 2016, "Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones". Bogotá, 2016.
- Departamento Nacional de Planeación. Dirección de Regalías, Actualización de la cartilla: "Las Regalías en Colombia". Bogotá D.C. noviembre de 2007
- Gaviria , Ana. García, Jorge. Sanchez, Luis. 1992. Programa modular: Procesamiento de minerales auro - argentíferos. Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
- Hedenquist, J.W., 1987, Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, in Transactions of the 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore, 1986, Oklahoma, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources,1-26
- Lindgren, W., 1933, Mineral Deposits: McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 930 p
- Lydon, J.W.. (2007). An overview of the economic and geological contexts of Canada's major mineral deposit types. *Special Publication*. 5. 3-48.
- Meza Orozco, J. J. (2010). Evaluación financiera de proyectos. Bogotá: Ecoe ediciones.
- SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. 2016. Fundamentos mineralógicos y sus implicaciones metalúrgicas y ambientales en la sustitución de la amalgamación para materiales auríferos de Pacarni, Huila. Cali-Colombia.
- SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. 2015. Taller de cianuración en plantas de beneficio de oro y su control ambiental. Cartilla. Cali-Colombia.
- SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. 2010. Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas. Cali-Colombia.
- Velandia, F.; Terraza, R.; Villegas, H. (2001). El sistema de fallas de Algeciras hacia el suroeste de Colombia y la actual transpresión de los Andes del Norte. VIII Congreso Colombiano de Geología. Memorias. Manizales.
- Velandia Forero, N. Y. (2017). Estatuto tributario. 2017. Bogotá Legis Editores, 2017.
- White, N. C. and Hedenquist, J. W., 1995, Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristic, and Exploration: *SEG Newsletter*, No. 23, p. 1,9-13.

REFERENCIAS WEB

- <http://www.fabreminerals.com>
- <https://www.mineralesyrocas.com>
- <http://www.directindustry.es/prod/hectron/product-56622-414043.html>
- <http://adolfo-gonzales-chaves.anuncios.com/criba-vibratoria-para-piedras-minerales-arena-idp-167249>
- <https://www.911metallurgist.com/equipment/industrial-rock-crusher/>
- <http://www.hosokawa-alpine.es/procesado-de-polvo-particulas/maschinen/kugel-und-ruehrwerkskugelmuehlen/so-super-orion-kugelmuehle/>
- <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/equipos-de-flotacion/>

GUÍA METODOLÓGICA
PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO
DEL BENEFICIO DE ORO
SIN EL USO DE MERCURIO.

ÍQUIRA (HUILA)

ISBN: 978-958-59782-9-4



El futuro
es de todos

Minenergía