



GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA  
LA EXPLORACIÓN Y ESTIMACIÓN DE  
RECURSOS Y RESERVAS

# ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES



# GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA EXPLORACIÓN Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES-GBPRMI-

## Agencia Nacional de Minería

LUIS ÁLVARO PARDO BECERRA  
PRESIDENTE

FERNANDO ALBERTO CARDONA VARGAS  
VICEPRESIDENTE DE SEGUIMIENTO,  
CONTROL Y SEGURIDAD MINERA

FABIO ANTONIO GUTIERREZ CAMACHO  
COORDINADOR GRUPO DE EVALUACIÓN  
DE ESTUDIOS TÉCNICOS

## Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales – CCRR®

MÓNICA SALDARRIAGA ECHEVERRI  
PRESIDENTE

## AUTORES

Diana Patricia Buitrago Henao, Ing. de Minas y  
Metalurgia

Fedor Pumarejo Muegues, Ing. de Minas

Gina Mejía López, Geóloga

Jhon Carol Manosalva Barrera, Ing. Geólogo

Juan Felipe Pineda Martínez, Ing. de Minas y  
Metalurgia

Luis Carlos Mojica Pérez, Ing. de Minas

Mónica Saldarriaga Echeverri - Geóloga

Wilson Ferney Vélez Giraldo, Ing. Geólogo

## APORTES TÉCNICOS

Jorge Eliécer López Rendón, Ing. Geólogo

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las empresas SUMICOL S.A.S.,  
INDUSTRIAL CONCRETO S.A.S., Grupo  
ARGOS y Empresa de Fosfatos del Huila S.A por  
su apoyo a la elaboración de la presente guía.



Bogotá, junio de 2024



## **PALABRAS PRESIDENTE ANM**

La nueva visión de la minería en Colombia fue anticipada en el Plan de Gobierno del Pacto Histórico y ha venido tomando forma en diversos instrumentos aprobados por la Autoridad Minera Nacional y materializado en los documentos de bases, articulado y plan plurianual de inversiones del Plan Nacional de Desarrollo (PND 2022-2026), ‘Colombia, Potencia Mundial de la Vida’.

Con la publicación de la Política Minera Nacional - UNA NUEVA VISIÓN DE LA MINERÍA EN COLOMBIA en 2023 se estableció que garantizar la soberanía del Estado en representación de todos los colombianos sobre la propiedad de los minerales y el desarrollo planificado del sector, eran los objetivos más importantes de esta nueva visión sectorial.

Complementan estos objetivos la aprobación de nuevas formas contractuales, la planeación territorial alrededor del agua, la preservación de los ecosistemas, la construcción de cadenas productivas, en cuya base están los minerales estratégicos, para contribuir a los programas económicos del gobierno actual – re-industrialización de la economía y desarrollo agrícola, la estrategia de transición energética justa, y la construcción de infraestructura pública --, el respeto a los derechos de las comunidades étnicas, los derechos humanos y la participación ciudadana, y la articulación minero-ambiental ordenada por el Consejo de Estado en el fallo que dio origen a la expedición de la certificación ambiental, como requisito para el estudio de las propuestas de contrato de concesión ante la Agencia Nacional de Minería (ANM).

Esta tarea implica también la necesidad de avanzar en la aplicación de normas que permitan al sector adoptar mejores estándares en todas las fases del ciclo minero (exploración, construcción y montaje, explotación, cierre y abandono).

Para cumplir con ese compromiso, la Agencia Nacional de Minería, que asumió el estándar propuesto por el Comité Internacional para el Reporte de Recursos y Reservas – CRIRSCO-, pone ahora a disposición del sector la Guía de buenas prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Rocas y Minerales Industriales, fruto de un importante trabajo de expertos del Grupo de Evaluación de Estudios Técnicos de la Agencia Nacional de Minería y profesionales competentes de la Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales (CCRR®).

El propósito de esta guía es proporcionar un valioso material de consulta para los profesionales del sector y los titulares mineros, sirviendo de apoyo para el desarrollo de los estudios geológico- mineros y la presentación de documentos técnicos, basados en principios de materialidad, transparencia e imparcialidad.

La estimación de recursos y reservas de conformidad con un estándar -CRIRSCO- permitirá a la Autoridad Minera tomar decisiones fundamentadas, para garantizar la soberanía de los recursos, la planeación del sector y la disponibilidad de minerales para la reindustrialización de la economía, la transición energética, el desarrollo agrícola y la construcción de infraestructura.

De igual forma, teniendo en cuenta que los recursos minerales son propiedad del Estado por mandato constitucional, desde la ANM se busca que su administración contribuya a la preservación del medio ambiente y respeto por la vida, enfocándonos en la promoción de una mejora continua de los métodos y técnicas de extracción, en la generación de empleos formales y dignos y propendiendo por el bienestar de los colombianos.



### **PALABRAS PRESIDENTE CCRR®**

Como parte del trabajo conjunto que ha venido desarrollando la Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales -CCRR® con la Agencia Nacional de Minería (ANM), en esta oportunidad es un privilegio presentar la Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Rocas y Minerales Industriales (GBPMI). Esta guía comprende un gran conjunto de rocas y minerales que están destinados para usos industriales, en la producción de cemento y como materiales de construcción, excluyendo los materiales de arrastre, los cuales ya cuentan con su propia guía (GBPMA) publicada en el año 2021.

Esta GBPMI es de gran relevancia debido a la importancia que las rocas y los minerales industriales tienen para Colombia. Por un lado, estos materiales (incluyendo los materiales de arrastre) constituyen el 66% de los títulos mineros existentes en el país y son las principales materias primas de sectores clave para la economía, como lo son el sector de la construcción (incluyendo el cementero, vidrio y cerámica), el químico y el agro. Por otro lado, en el marco de la transición energética y la seguridad alimentaria, la demanda de las rocas y minerales industriales va a incrementarse notablemente con el fin de soportar la infraestructura necesaria que se requiere para lograr las metas propuestas. Por último, las particularidades propias de las rocas y los minerales industriales y sus diferencias con los depósitos metálicos evidencian la necesidad de esta GBPMI, cuyo objetivo es permitir a los profesionales del sector minero contar con herramientas para llevar a cabo la exploración y la estimación de recursos y reservas minerales, bajo altos estándares de calidad y aplicando las mejores prácticas.

Esta guía ha sido preparada bajo el liderazgo del Coordinador del Grupo de Evaluación de Estudios Técnico de la ANM, el Ingeniero de Minas Fabio Antonio Gutiérrez Camacho, y de su equipo de trabajo liderado por el ingeniero Geólogo Wilson Ferney Vélez Giraldo. Por parte de la CCRR®, el Ingeniero Geólogo y Persona Competente Jorge Eliecer López Rendón. Para esta guía en particular, ha sido para mí un orgullo ser parte del equipo de trabajo, teniendo la oportunidad de compartir mis conocimientos y experiencia en rocas y minerales industriales, y ponerlos a disposición del sector minero colombiano. En representación de CRIRSCO y de la CCRR®, quiero extender un agradecimiento a todo el equipo de trabajo por este valioso esfuerzo.

Por último, quiero recalcar que la aplicación de las GBP, en conjunto con la implementación del Estándar Colombiano para el Reporte de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales (ECRR®) en la elaboración de reportes técnicos, genera confianza y estandarización en la información geológico-minera, mejora el conocimiento sobre los recursos y las reservas minerales que contiene el país y atrae capital para el desarrollo y el crecimiento del sector.



## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>2. CONTEXTO DE LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES EN COLOMBIA</b>	<b>9</b>
<b>3. EXPLORACIÓN</b>	<b>14</b>
3.1. Planificación y Diseño del Programa de Exploración	14
3.2. Revisión de Información	16
3.3. Cartografía de superficie	16
3.4. Prospección Geofísica	17
3.5. Exploración de superficie	18
3.6. Técnicas de Perforación	18
3.7. Método de Muestreo, Recolección, Captura y Almacenamiento	22
3.8. Muestreo de Volumen y/o Minería de Prueba	26
3.9. Preparación y Análisis de la Muestra	26
3.10. Control de Calidad / Aseguramiento de la Calidad (QA/QC)	29
3.11. Densidad	29
3.12. Bases de datos	30
<b>4. ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES</b>	<b>32</b>
4.1. Modelo geológico e interpretación	33
4.1.1. Dominios de estimación	34
4.2. Técnicas de estimación y modelado	35
4.2.1. Estimación del volumen o tonelaje de los recursos minerales	35
4.2.2. Estimación de la distribución de la calidad	35
4.3. Errores más Comunes al Momento de Hacer una Estimación de Recursos Minerales	37
4.4. Calidades Apropriadas de Producto Vendible	38
4.5. Base para Informar (Parámetros Físicos, Químicos, Etc)	38
4.6. Perspectivas razonables para una eventual extracción económica	39
4.7. Criterio de Clasificación	39
4.7.1. Criterios Geológicos	39
4.7.2. Criterios Geométricos	40
4.7.3. Criterios Geoestadísticos	40
4.8. Declaraciones de Recurso Mineral	40
<b>5. ESTIMACIÓN DE RESERVAS MINERALES</b>	<b>42</b>
5.1. Factores modificadores	42
5.1.1. Estudio de mercados	43
5.1.2. Factor Modificador Ambiental	47



5.1.3.	Factor Modificador Infraestructura	48
5.1.4.	Factores Modificadores Técnico – Mineros	49
5.1.5.	Dilución	58
5.1.6.	Pérdidas o Recuperación Mineras	59
5.1.7.	Necesidades de Mano de Obra y Equipos	59
5.1.8.	Factores Modificadores Geotécnicos, Hidrogeológicos e Hidrológicos	64
5.1.9.	Factor Modificador Procesos de Beneficio y Transformación	67
5.1.10.	Factor Modificador Social	68
5.1.11.	Factor Modificador Legal	68
5.1.12.	Factor Modificador Escala de Producción y Vida Útil	69
5.1.13.	Factor Modificador Análisis Económico	69
A)	Modelo Económico	69
5.2.	Análisis de Riesgos	73
5.3.	Estimación de Reservas	73
A)	Preparación	73
B)	Categorización	73
C)	Validación	74
D)	Documentación	74
E)	Declaraciones de Reserva Mineral	74
F)	Discusión de la confianza relativa	75
5.4.	Reconciliación	76
5.5.	Informes	77
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>79</b>



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Títulos mineros de rocas y minerales industriales en Colombia. ....	12
Figura 2. Estimación de volúmenes por método de perfiles. ....	35
Figura 3. Categorización de recursos minerales para caliza. ....	41
Figura 4. Diagrama de actividades mineras. ....	50
Figura 5 Explotación por open pit mining. ....	54
Figura 6 Explotación de Minería de Contorno. ....	55
Figura 7. Explotación por cámaras y pilares. ....	57
Figura 8 Explotación derrumbe por bloques. ....	58
Figura 9. Reservas probables y características de calidad. ....	75
Figura 10. Esquema del ciclo de reconciliación. ....	76



## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Métodos de perforación mecanizada en materiales duros (roca). .....	19
Fotografía 2. Perforación manual con auger en materiales blandos. ....	19
Fotografía 3. Perforación manual con Palacoca en materiales blandos. ....	20
Fotografía 4. Materialización de collar de perforación. ....	21
Fotografía 5. Muestreo de canal en bancos de explotación. ....	23
Fotografía 6. Apique para muestreo en depósito de minerales industriales. ....	24
Fotografía 7. Almacenamiento de muestras de núcleos de perforación. ....	24
Fotografía 8. Limpieza de muestras, marcado, rotulado y empacado, materiales blandos. ....	25
Fotografía 9. Laboratorio en mina para análisis de calidad. ....	28
Fotografía 10. Clasificación Granulométrica .....	46
Fotografía 11. Área recuperada, etapa de Cierre y abandono. ....	48
Fotografía 12. Centro de homogenización. ....	49
Fotografía 13. Explotación a cielo abierto de Rocas y Minerales Industriales. ....	51
Fotografía 14. Explotación por método de minería de cantera .....	53
Fotografía 15. operación de cargue .....	61
Fotografía 16. Operación de perforación .....	62
Fotografía 17. Operación de transporte .....	63
Fotografía 18. Labores de sostenimiento .....	65
Fotografía 19. Planta de Procesamiento de Caolín. ....	67



## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Lista de las rocas y minerales industriales más comunes.....	10
Tabla 2. Volúmenes de explotación de minerales no metálicos asociados a pagos por regalías año 2022.....	13
Tabla 3. Características de calidad y propiedades relevantes de algunos minerales industriales.....	27
Tabla 4. Métodos convencionales o tradicionales de estimación.....	36
Tabla 5. Sectores donde se requieren las rocas y minerales industriales.....	45
Tabla 6. Costos de explotación típicos de las operaciones mineras.....	70



## 1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de fomentar las mejores prácticas de la industria minera, la Agencia Nacional de Minería y la Comisión Colombiana de Recursos y Reservas Minerales (CCRRE) han publicado una serie de guías de buenas prácticas enfocadas en los minerales de mayor importancia para Colombia. El primer documento denominado “Guía De Buenas Prácticas De La Esmeralda Colombiana” fue publicado en septiembre de 2020 sentando un precedente importante para las actividades exploratorias y de estimación de recursos y reservas para la piedra preciosa símbolo de Colombia; posteriormente en octubre de 2021, se presenta la “Guía de Buenas Prácticas para La Exploración y Estimación de Recursos y Reservas De Materiales de Arrastre” donde se señalan las mejores prácticas que promueven la sostenibilidad del proyecto minero, y por último, se publicó en mayo de 2022 la “Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Depósitos de Placer”, enfocada en los minerales encontrados en placeres aluviales principalmente de oro y platino.

Continuando con el compromiso que tiene la ANM y la CCRRE con el sector minero colombiano y teniendo en cuenta que, de los 7.004 títulos mineros vigentes en Colombia a mayo de 2024, el 57% corresponden a materiales de construcción, calizas y otros minerales industriales, se publica la Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Rocas y Minerales Industriales (GBPRMI), la cual es un compilado de recomendaciones que son aplicables a proyectos mineros de pequeña, media o gran minería y que están encaminadas a promover la calidad de las actividades mineras y de los datos obtenidos durante la ejecución de éstas.

El concepto de “buena práctica” tenido en cuenta para la elaboración de la presente guía, se basa en la definición de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO (2013) “Una buena práctica no es tan sólo una práctica que se define buena en sí misma, sino que es una práctica que se ha demostrado que funciona bien y produce buenos resultados, y, por lo tanto, se recomienda como modelo. Se trata de una experiencia exitosa, que ha sido probada y validada, en un sentido amplio, que se ha repetido y que merece ser compartida con el fin de ser adoptada por el mayor número posible de personas.”

La guía ha sido estructurada en seis capítulos de manera que permita al lector seguir una secuencia lógica de buenas prácticas que se sugiere aplicar durante la exploración, estimación de recursos y reservas minerales para rocas y minerales industriales. En cada capítulo se presenta inicialmente un contexto general de los temas a desarrollar y luego se lista una serie de recomendaciones que corresponden a buenas prácticas que han sido obtenidas, bien sea por la experiencia de los autores, aportes de personas competentes en Colombia o profesionales del sector o recopiladas de guías de buenas prácticas elaboradas por diferentes *National Reporting Organizations*– NROs-.

Las recomendaciones presentadas no deben confundirse con actividades, metodologías, o procedimientos de obligatorio cumplimiento en el marco de la normativa colombiana; debe entenderse más como una serie de buenas prácticas que permitan al titular minero, propietario de minas y profesionales del sector tener mayor confianza en el desarrollo de su proyecto.

Se espera que un documento técnico elaborado bajo los lineamientos del ECRRE o algún otro estándar acogido por CRIRSCO de cuenta de los principios de Materialidad, Transparencia e Imparcialidad y que incluya las buenas prácticas que sean aplicables al proyecto en particular.

## 2. CONTEXTO DE LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES EN COLOMBIA

Las rocas y minerales industriales conforman un renglón relevante en la economía de Colombia dado su uso en diferentes industrias, entre las que se encuentran cementera, construcción, vidrio, cerámica, metalúrgica, química, agricultura, entre otras. Esta importancia se ve reflejada en la distribución de los títulos mineros otorgados en el país. Según la Agencia Nacional de Minería, para mayo de 2024 los 7.004 títulos mineros se



distribuían así: materiales de construcción (48%), carbón (14%), metales preciosos (23%), calizas (8%), minerales Industriales (1%), piedras preciosas (4%) y otros Metales (1%).

Según el Glosario Técnico Minero adoptado por el Ministerio de Minas de Colombia, se define los minerales industriales como aquellas rocas u otras sustancias de ocurrencia natural con valor económico, excluidas las menas metálicas, minerales energéticos y las gemas (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Si bien existen diferentes clasificaciones de las rocas y minerales industriales, la ANM ha adoptado la clasificación de minerales de acuerdo con la Clasificación Industrial Internacional de todas las Actividades Económicas (CIIU), y ha establecido los siguientes grupos: Calizas, Arcillas Industriales, Arcillas Comunes, Rocas y Materiales de Construcción, Rocas Ornamentales, Minerales no metálicos para uso industrial, Sal, y Fosfatos. En la Tabla 1 se detalla esta agrupación para las rocas y minerales industriales más comunes.

*Tabla 1. Lista de las rocas y minerales industriales más comunes.*

GRUPO	MINERAL (PRODUCTO)
<b>Calizas</b>	Caliza para cal o cemento
	Dolomita
	Mármol
<b>Arcillas Industriales</b>	Arcillas bentónicas
	Arcillas refractarias
	Arcillas especiales
<b>Arcillas Comunes</b>	Arcilla común: Arcilla cerámica
	Arcillas ferruginosas
	Arcillas misceláneas
	Arcillas caoliníticas
<b>Rocas y Materiales de Construcción*</b>	Arenas
	Gravas
	Basalto
	Diabasa
	Serpentina
	Recebo
	Asfaltitas
<b>Rocas Ornamentales</b>	Granito
	Mármol
	Travertino
	Calizas
	Piedra arenisca
	Roca Coralina
	Serpentina
	Serpentinita
<b>Minerales no metálicos para uso industrial</b>	Arenas silíceas
	Asbesto (O crisotilo)
	Mineral de azufre



GRUPO	MINERAL (PRODUCTO)
	Barita
	Bauxita
	Carbonato de calcio
	Cuarzo
	Feldespatos
	Fluorita
	Grafito
	Micas: Vermiculita, moscovita, biotita
	Puzolanas
	Talco
	Yeso
<b>Sal</b>	Sal Marina
	Sal Terrestre (Gema)
<b>Fosfatos</b>	Roca fosfórica

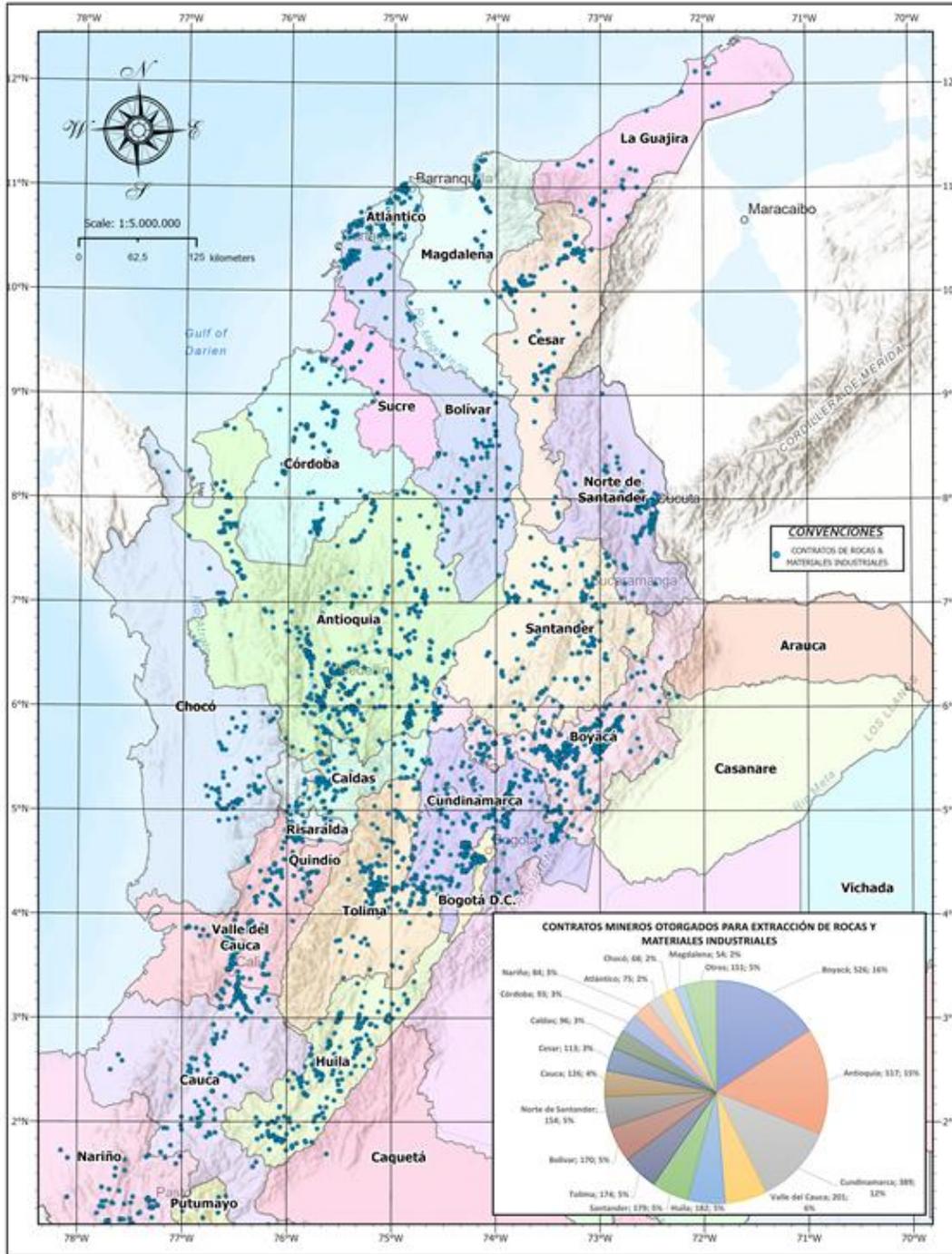
*Fuente: Modificado de (ANM, 2016)*

\* Los materiales de arrastre que hacen parte de los materiales de construcción, no están incluidos en esta guía, para su consulta referirse a la Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas Minerales de Materiales de Arrastre -GBPMA (<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/guia-materiales-de-arrastre.pdf>)

En la Figura 1 se muestra la distribución de los títulos mineros otorgados para rocas y minerales industriales en el país, a octubre de 2023.



Figura 1. Títulos mineros de rocas y minerales industriales en Colombia.



Fuente: Información y datos de la ANM - octubre 2023.

En la Tabla 2 se presentan los volúmenes de producción oficialmente reportados por los productores para efectos del pago de las regalías ordenadas por la legislación vigente. Con respecto a las categorías de producto, se observa que los mayores volúmenes producidos en el año 2022 corresponden a Materiales de Construcción (21.191.742 m<sup>3</sup>), Calizas (21.807.664 toneladas), y Arcillas (3.338.896 toneladas). En particular, la producción



de Materiales de Construcción está dominada por gravas y arenas, en gran parte destinadas a la industria de la construcción. En el caso de las Calizas, la mayor parte de esta producción está destinada a la industria cementera.

Tabla 2. Volúmenes de explotación de minerales no metálicos asociados a pagos por regalías año 2022.

CLASIFICACIÓN MINERAL	MINERAL	UNIDAD DE MEDIDA	DEPARTAMENTOS	TOTAL
<b>Calizas</b>	Calizas	Toneladas (t)	Antioquia, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cesar, Córdoba, Huila, La Guajira, Magdalena, Meta, Norte de Santander, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca.	<b>21.722.082</b>
	Dolomitas	Toneladas (t)	Antioquia, Huila, Meta, Tolima, Valle del Cauca.	<b>85.582</b>
<b>Arcillas</b>	Arcillas bentonita, Arcillas caolinífticas, Arcillas cerámicas, Arcillas ferruginosas, Arcillas misceláneas	Toneladas (t)	Antioquia, Atlántico, Bogotá, D.C., Bolívar, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca,	<b>3.338.896</b>
<b>Rocas ornamentales</b>	Mármol (Bloque mayor o igual a 1 m3), Mármol (Bloque menor a 1 m3), Mármol en rajón (Retal de mármol), Travertino y calizas cristalinas (Bloque mayor o igual a 1 m3), Travertino y calizas cristalinas (Bloque menor a 1 m3)	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )	Antioquia, Boyacá, Córdoba, Cauca, Huila, Santander, Tolima.	<b>33.152</b>
<b>Minerales no metálicos para uso industrial</b>	Arenas Silíceas	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )	Antioquia, Atlántico, Bolívar, Caldas, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Magdalena, Norte de Santander, Santander, Tolima, Valle del Cauca.	<b>184.521</b>
	Barita	Toneladas (t)	Cesar, Santander	<b>1.034</b>
	Carbonato de Calcio (Calcita)	Toneladas (t)	Córdoba	<b>2</b>
	Feldespatos	Toneladas (t)	Norte de Santander, Tolima	<b>132.301</b>
	Micas: Vermiculita, Moscovita, Biotita	Toneladas (t)	Magdalena	<b>609</b>
	Puzolanas (Roca Origen Volcánico)	Toneladas (t)	Boyacá	<b>389.206</b>



CLASIFICACIÓN MINERAL	MINERAL	UNIDAD DE MEDIDA	DEPARTAMENTOS	TOTAL
	Talco	Toneladas (t)	Antioquia, Caldas	<b>5.222</b>
<b>Materiales de construcción</b>	Arenas	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )	Antioquia, Cesar	<b>4.086.914</b>
	Asfaltitas	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )	Antioquia, Boyacá, Caquetá, Norte de Santander, Santander.	<b>18.575</b>
	Diabasa	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )	Antioquia, Caldas, Cauca, Córdoba, Risaralda, Valle del Cauca	<b>1.501.880</b>
	Gravas	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )	Antioquia, Arauca, Atlántico, Bogotá, Bolívar, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Guaviare, Huila, Guajira, Magdalena, Meta, Nariño, N. de Santander, Putumayo, Quindío, Risaralda, Putumayo, Tolima, Valle del Cauca.	<b>10.278.194</b>
	Recebo	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )	Antioquia, Atlántico, Bogotá, D.C., Bolívar, Boyacá, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Guaviare, Huila, Guajira, Magdalena, Nariño, Risaralda, Santander, Sucre, Tolima, Valle del Cauca.	<b>5.306.179</b>

*Fuente: Agencia Nacional de Minería – ANM. Reporte de volúmenes de explotación de minerales asociados a pagos de regalías (10 de mayo de 2023).*

### 3. EXPLORACIÓN

El ciclo de vida de todo proyecto minero inicia con la etapa de exploración, en la cual se identifica un depósito mineral para luego, a partir de actividades planificadas y estructuradas llegar a la estimación de recursos y reservas minerales.

#### 3.1. Planificación y Diseño del Programa de Exploración

La exploración es una actividad de alto riesgo en la cual se invierte tiempo y recursos y sin necesariamente obtener los resultados esperados, por lo que es necesario establecer unos objetivos claros en cada etapa de exploración y enfocar el plan en alcanzar dichos objetivos. Esta planeación debe tener en cuenta los recursos de la empresa y el entorno cambiante en el que opera.

El mercado demanda unas especificaciones de producto final muy bien definidas, en muchos casos muy estrictas, basadas en un rango de criterios físicos, químicos, físico-químicos (a veces estrictamente



mineralógicos), todos ellos determinantes de la función (o funciones) que el mineral industrial va a cumplir en la aplicación final tal como pintura, papel, plástico, entre otros. (López-Rendón, 2023)

Acorde con estas consideraciones, el programa de exploración debe estar basado en una comprensión clara de las características de los minerales a explorar y el uso potencial de estos, de manera que pueda proyectarse o planearse, no solamente las actividades de campo, sino también las pruebas y/o análisis de laboratorio que permitan evaluar el desempeño de los minerales industriales para tal mercado.

Durante la etapa de planeación es relevante analizar algunos temas que pueden servirle al profesional líder para optimizar recursos, entre los que se cuentan, características del mercado y uso, así como factores generales.

### Recomendaciones

- **Identificación del mercado que se busca atender:** En depósitos de rocas y minerales industriales es relevante identificar el uso que se le dará a los minerales o materiales a explorar.
- **Ubicación geográfica de la demanda de minerales:** La identificación de las zonas en las que podría comercializarse el mineral de interés permite definir áreas aptas para adelantar actividades de exploración.
- **Capacidades tecnológicas:** Identificar la capacidad con que cuenta la empresa para realizar el procesamiento y/o transformación de los minerales / materiales industriales
- **Titularidad minera y de predios:** Al momento de planear el inicio de las actividades de exploración, debe asegurarse que se satisfacen los requisitos legales para adelantar dichas actividades. Igualmente, identificar la facilidad de acceder a los derechos de la propiedad en superficie.
- **Identificación de interesados:** Los interesados del proyecto son individuos, grupos u organizaciones que pueden afectar, verse afectados o percibirse a sí mismos como afectados por una decisión, actividad o resultado de un proyecto (PMI®, 2017). Identificar la presencia de comunidades que puedan ser o sentirse impactadas por el desarrollo del proyecto es una tarea que se sugiere realizar desde las primeras etapas del proyecto.
- **Identificación de restricciones:** Una vez definida el área a explorar, es relevante identificar si existe algún tipo de restricción para realizar futuras actividades mineras.
- **Equipo de trabajo:** Durante la elaboración del programa de exploración debe considerarse contar con personal que tenga conocimiento/experiencia en el mineral o minerales de interés.
- **Permisos:** El profesional líder debe confirmar que el proyecto tiene todos los permisos y autorizaciones necesarios antes de comenzar el trabajo.
- **Definición de sistema de coordenadas y transformaciones:** Una campaña de exploración necesita un sistema de coordenadas espaciales consistente desde el inicio para ubicar toda la información producida durante la exploración en la propiedad. En el caso de Colombia, la autoridad minera ha definido como sistema oficial el sistema Magna-Sirgas Geográficas, y para la presentación de información de áreas y distancias se debe emplear el Origen Único Nacional (CMT12). Ya que la intención de las Guías de Buenas Prácticas es que sean atemporales, se sugiere el uso del sistema de coordenadas que se encuentre vigente y reglamentado al momento de la elaboración del informe. Considerando los cambios en el sistema de coordenadas, el documento debe registrar de manera clara cuál es el sistema de coordenadas en el que se registra la información, así como los procedimientos realizados para transformar los datos geográficos.

En la guía de buenas prácticas de exploración y estimación de recursos y reservas minerales de depósitos de placer, publicada por la ANM y la CCRR® en el año 2022 se describen estas actividades a considerar durante la planeación.



### 3.2. Revisión de Información

Una vez definidos los minerales de interés, el área a evaluar, los objetivos y el presupuesto, se recomienda iniciar con la revisión de información y elaboración de un estudio documental que permita conocer el estado del arte respecto a las características geológicas, de infraestructura, sociales, y ambientales del área seleccionada.

Durante esta revisión, se recomienda evaluar no solamente la información disponible respecto a la geología, sino también respecto a minas activas o antiguas, infraestructura, condiciones ambientales, sociales. Esta información puede ubicarse en las entidades gubernamentales que, en el caso de Colombia, corresponden al Servicio Geológico Colombiano (SGC), Agencia Nacional de Minería (ANM), Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), así como Universidades. Esta información puede ser obtenida, a partir de profesionales que han trabajado en dichas áreas o en informes de empresas que hayan sido publicados.

La verificación de los datos es un concepto clave y es diferente de la validación de los datos.

La **validación** de la información de la base de datos en formato analógico o digital incluye todas las comprobaciones efectuadas para asegurarse de que no haya errores o discrepancias en los datos (por ejemplo, superposición de muestras, etiquetado incorrecto de los datos, mezcla de unidades, etc.). Esta es una tarea importante, pero no incluye la verificación de los datos en los cuales se basa (CIM, 2018).

La **verificación** de los datos está relacionada a la integridad y exactitud de los datos para presentar resultados que sean razonables. Todos los datos que están incluidos en la base de datos del proyecto deben ser verificados. Esto incluye datos "heredados" de cualquier tipo: geoquímicos, geofísicos, de perforación, de muestreo, metalúrgicos, etc. de anteriores operadores o de entidades del gobierno (CIM, 2018).

Esta información puede ser valiosa para el proyecto y debe verificarse por su integridad para confirmar su nivel de calidad antes de ser incluida en la base de datos del proyecto. En otras palabras, el titular debe auditar los datos históricos para aceptar la responsabilidad de su uso. Dependiendo de la etapa de exploración, esto puede incluir un muestreo independiente de muestras con indicios en superficie o anomalías importantes de suelos, el re-muestreo de trincheras, perforación de pozos gemelos, etc. Estas actividades de verificación deben describirse y documentarse detalladamente (CIM, 2018).

### Recomendaciones

- Consultar información disponible en entidades oficiales como el Servicio Geológico Colombiano, IGAC; IDEAM, publicaciones de titulares (propietarios) anteriores, entre otros.

### 3.3. Cartografía de superficie

El objetivo de la cartografía geológica de superficie es identificar y registrar las principales características de las unidades litológicas, incluyendo color, granulometría, características composicionales, alteraciones, grado de meteorización, rasgos estructurales (diaclasamiento, plegamiento), entre otras.

Esta información es registrada en un mapa geológico, cuya escala depende de los objetivos definidos durante la planeación del programa de exploración. Estos mapas deben reflejar la ubicación de las principales litologías, estructuras, además de las manifestaciones de los minerales o materiales de interés. La información que soporta estos mapas está asociada a bases de datos, registros fotográficos, descripciones litológicas, información de muestreo.



### Recomendaciones

- Contar con base topográfica actualizada y a escala adecuada según la escala de la cartografía geológica a realizar.
- Establecer una leyenda geológica estándar, que incluya todas las unidades litológicas y una lista de símbolos geológicos utilizados. Esta leyenda debe ser preparada y aplicada de manera consistente a todos los programas de exploración (incluyendo perforación) que se realicen en la propiedad bajo estudio (CIM, 2018).
- Establecer la escala de la cartografía acorde con el objetivo del proyecto; un prospecto generalmente se realiza a escala 1:10.000 a 1:25.000. Para un mapeo detallado y preciso, se sugiere realizar una cartografía a mayor detalle. El área con el mineral de interés económico debe evaluarse en detalle, por ejemplo, si el objetivo es un depósito de arcillas producto de la meteorización, mapearse cuidadosamente los cambios texturales, granulométricos, propiedades organolépticas.
- En los mapas geológicos, además de las características litológicas, de meteorización y estructurales, se pueden incluir datos asociados a afloramientos específicos y actividades de exploración como trincheras.
- Emplear, allí donde aplique, imágenes de sensores remotos que permitan evaluar áreas previo al trabajo de campo; en estos análisis es relevante identificar la aplicación de las diferentes bandas de las imágenes que puedan asociarse con minerales de interés.

### 3.4. Prospección Geofísica

Los métodos de exploración geofísica apoyan la identificación de depósitos minerales midiendo las propiedades físicas que presentan contrastes significativos entre la litología o material de interés y las unidades litológicas adyacentes. Históricamente, los métodos de exploración geofísica han utilizado las propiedades físicas como la densidad (gravedad), la susceptibilidad magnética, la conductividad, la cargabilidad, la resistividad, la radioactividad y la velocidad sísmica. En muchos casos, el depósito buscado u objetivo mineralizado tiene una propiedad física (o propiedades) que permite su detección directa. En otros casos, los depósitos minerales pueden ser detectados en virtud de las propiedades físicas de un mineral no económico asociado o por asociación con una roca específica o a un tipo de alteración.

Los estudios geofísicos proporcionan información que ayuda a soportar la cartografía y el modelo geológicos, respecto a la continuidad en profundidad de la unidad de interés.

Las prospecciones geofísicas pueden realizarse en la superficie del suelo o por encima de la superficie utilizando aeronaves. Las prospecciones geofísicas también pueden realizarse dentro de los pozos dejados por los taladros exploratorios.

Al desarrollar y diseñar una prospección geofísica, el profesional líder necesita una clara comprensión de las características geofísicas del tipo de mineralización que busca el programa y su posible ubicación y orientación. Esta comprensión debe regir la elección del método de prospección geofísica y el diseño de las especificaciones de la prospección. Un geofísico calificado debe planificar, supervisar e interpretar los resultados de la prospección geofísica (CIM, 2018).

### Recomendaciones

- Identificar las propiedades que mayores contrastes presentan en los minerales de interés, como indicativo para definir el mejor método geofísico a aplicar. El profesional líder necesita una clara



comprensión de las características geofísicas del tipo de mineralización que busca el programa y su posible ubicación y orientación (CIM, 2018).

- Un profesional calificado debe planificar, supervisar e interpretar los resultados de la prospección geofísica (CIM, 2018).
- Presentar una discusión detallada de temas tales como las especificaciones de la prospección, los procedimientos de adquisición de datos, calidad de los datos, métodos de procesamiento, métodos de presentación y formatos para el almacenamiento de los datos y consideraciones de seguridad (CIM, 2018).
- Incluir documentación relacionada con elementos tales como el espaciamiento, tamaño, volumen, peso, etc. y cualquier otro parámetro que al variar pueda influir o cambiar los resultados (CIM, 2018).

### 3.5. Exploración de superficie

La ubicación precisa de las actividades de exploración es de crucial importancia y requiere que el explorador conozca los conceptos básicos de los levantamientos topográficos. El esfuerzo puesto en la topografía varía con la etapa en la que se encuentra el proyecto. En una etapa temprana en un área remota, una topografía a escala menos detallada podrá ser adecuada.

#### Apiques y trincheras

En áreas en las que los afloramientos son escasos o nulos, los apiques o trincheras permiten conocer las características de la roca o material de interés. La geología de un apique o trinchera debe describirse e ilustrarse en detalle.

Los apiques y trincheras permiten obtener muestras en cantidades suficientes para estimaciones de calidad más precisas, así como para realizar trabajos de prueba de planta piloto (Moon *et al.*, 2006).

#### Recomendaciones

- Definir el número de apiques y trincheras, y el espaciamiento acorde con la naturaleza del mineral a explorar.
- Planear la profundidad de los apiques y trincheras dependiendo del perfil de meteorización y presencia del material/mineral de interés.
- Según el tipo de mineral de interés, definir el intervalo para toma de muestras: como ejemplo, cada metro en el caso de depósitos relativamente uniformes en aspectos físicos, o cuando se presente una variación sustancial en alguna de las propiedades reconocibles en el campo (por ejemplo, color, granulometría, etc.). Recolectar por separado cada muestra, y someter las muestras a análisis específicos de laboratorio para determinar así continuidad y/o variaciones de calidad del mineral.

### 3.6. Técnicas de Perforación

La decisión sobre perforar y el método a emplear, debe tomarse una vez se tenga un adecuado entendimiento del yacimiento, de manera que se diseñe un plan de perforación que permita obtener la información necesaria y suficiente para el modelamiento geológico y posterior estimación de recursos y reservas minerales. Considerando la amplia gama de rocas y minerales industriales, se debe establecer cuál técnica o método de perforación es la que mejor aplica.



El método de perforación debe ser el apropiado según las características litológicas de los minerales o materiales explorados, considerando si se trata de materiales duros (rocas) o blandos (arcillas, roca meteorizada), en ese orden de ideas, el objetivo del programa debe ser claro. El tipo de perforación, bien sea mecanizada (Ver

Fotografía 1) o manual (Ver Fotografía 2 y Fotografía 3), así como el diámetro seleccionado para la perforación debe proporcionar la suficiente cantidad de muestra para que permita la descripción geológica, la caracterización geotécnica, los análisis de laboratorio requeridos y el almacenamiento con propósitos de referencia (CIM, 2018).

*Fotografía 1. Métodos de perforación mecanizada en materiales duros (roca).*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

*Fotografía 2. Perforación manual con auger en materiales blandos.*





*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

*Fotografía 3. Perforación manual con Palacoca en materiales blandos.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

La ubicación de las perforaciones debe determinarse utilizando métodos que tengan niveles de precisión que sean los adecuados para la etapa en que se encuentra la prospección de la propiedad. Las cuadrículas de coordenadas medidas por encadenamientos o por equipos portátiles GPS (Sistema de Posicionamiento Global) pueden ser suficientes para los proyectos en la etapa de exploración. En la etapa posterior al descubrimiento y delimitación del depósito, la ubicación de los collares debe determinarse utilizando métodos de medición más precisos y exactos (CIM, 2018). Igualmente, dejar materializado el collar de la perforación permitirá realizar las verificaciones y validaciones en el futuro.

### Recomendaciones

- Realizar el logueo de los testigos (núcleos o ripios) de la perforación diamantina o de las muestras de detritos o esquirlas provenientes de las perforaciones rotativas, o de los materiales obtenidos con taladros manuales (auger) debe ser llevado a cabo por personal idóneo y calificado que cuente con el entrenamiento adecuado y la experiencia suficiente.
- Los logueos deben registrar una descripción de las litologías, granulometría, color, grado de meteorización, el tipo, cantidad y distribución de los minerales o materiales potencialmente económicos, tipos e intensidad de fracturamiento, e información geotécnica. También deben tomarse fotografías de los núcleos de perforación antes de cortarlos, como parte del proceso de logueo y guardarse para referencias futuras.
- El formato de logueo para la perforación, ya sea en papel o digital, y el nivel de detalle del logueo deben ser los adecuados para el tipo de perforación, las condiciones geológicas del lugar y la naturaleza de la mineralización. Los logueos deben estar suficientemente detallados para registrar:
  - el tipo de perforación que se está realizando
  - el propósito u objetivo de un sondeo en particular
  - el entorno geológico
  - el tipo de mineralización
  - las condiciones geotécnicas



Las recuperaciones de los testigos o muestras deben anotarse en los registros. Toda la información geológica registrada en los logueos de la perforación debe usar una leyenda geológica estándar que sea consistente con la información geológica.

- Durante el programa de perforación se debe conservar y almacenar una fracción representativa del material proveniente de la perforación para futuras revisiones. Una práctica común en las propiedades en etapa de exploración es la conservación los testigos de perforación, así como los rechazos de los análisis de laboratorio. Cada vez que el material no haya sido conservado, el profesional idóneo debe documentar la razón por la cual no fue conservado (CIM, 2019).
- La información sobre el material/mineral de interés, litologías y estructuras deben registrarse en lo posible en un registro gráfico tan pronto como la información esté disponible.
  - Definir procedimientos de logueo
  - Materializar los collares de perforación (ver Fotografía 4)
  - Realizar la medición de la orientación del pozo (General)
  - Realizar un adecuado registro fotográfico y logueo litológico previo al muestreo.
  - Realizar la descripción geotécnica del yacimiento.

*Fotografía 4. Materialización de collar de perforación.*



Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.

- La elección del software geológico y de logueo debe asegurar que toda información relevante proveniente de la exploración pueda ser capturada de una manera consistente, funcional y segura que



sea adecuada para su uso en las fases subsiguientes de la evaluación de la propiedad. Los resultados de los programas de perforación se pueden registrar y almacenar de manera efectiva en formato físico (papel) o en formato electrónico en hojas de cálculo para las propiedades desde la etapa inicial de la exploración.

- Para las propiedades en exploración, durante las etapas de descubrimiento y de delimitación, se prefiere el almacenamiento de los datos de la perforación en una base de datos relacional que proporciona un apropiado control y seguridad, que el almacenamiento de la información en hojas de cálculo. Las hojas de cálculo no pueden asegurarse tan efectivamente como las bases de datos y, en consecuencia, son propensas a una mayor probabilidad de errores durante la manipulación de datos. Considerando el costo del trabajo de campo, perforación y análisis del laboratorio, el costo relacionado con el almacenamiento adecuado de los datos se justifica para asegurar la integridad y el uso eficiente de los datos del proyecto.
- Se recomienda el uso de placas para identificar el número de la perforación, cajas portatestigos y los intervalos dentro de la caja. Una etiqueta debe ser firmemente fijada en un medio resistente a la intemperie en el exterior de cada caja portatestigos y en una misma ubicación dentro de cada caja.
- En los materiales blandos (arcillas en general), se usan barrenos manuales (auger, cuchara), esto depende de qué tanta plasticidad tenga el material, de qué tanto se deje tomar la muestra y de la cantidad de muestra que se necesita para los ensayos de laboratorio.
- Normalmente estos muestreos de materiales blandos se hacen en redes de perforación, la densificación de dicha red se hace de acuerdo con la variabilidad y condición del material.
- En materiales duros (rocas) se realizan perforaciones mecanizadas con brocas de diamante. Son más costosas, por lo que se requiere tener el objetivo claro al realizar esta perforación.
- Generalmente estas perforaciones no se hacen en red, sino que se ubican en sitios estratégicos que puedan dar la mayor información posible del yacimiento.
- Al perforar en rocas y minerales industriales (RMI) es muy importante tener en cuenta los fluidos que se usan, como es el caso de los lubricantes, pues están fabricados a base de bentonitas, baritas o polímeros que tienen una composición química que pueden cambiar las características de los minerales que se están perforando. Aunque se prefiere que estos lodos de perforación sean químicamente inertes (que no sean bentoníticos ni tengan barita en su composición), en ciertos casos específicos esta composición no es relevante.
- Una buena práctica consiste en realizar una descripción mineralógica detallada del núcleo. Otra buena práctica consiste en dejar muy bien materializado el sitio donde se realizó la perforación, mediante mojones, incluyendo número del pozo, metros perforados, fecha, entre otros; custodiarlos y mantenerlos durante la vida útil del proyecto minero, siempre que sea posible.
- Almacenar de forma adecuada los núcleos y testigos de perforación.
- Si la recuperación es buena, se recomienda cortar el núcleo longitudinalmente y enviar la mitad del núcleo al laboratorio para ensayos y pruebas; si el núcleo está muy triturado tomar una muestra representativa del 50% de la muestra y conservar el 50% restante. También es muy importante hacer una buena conservación del núcleo de perforación sobrante, en recipientes y lugares adecuados, bien marcados, para luego validar, revisar y/o ajustar cierta información que lo requiera.

### **3.7. Método de Muestreo, Recolección, Captura y Almacenamiento**

Los depósitos de rocas y minerales industriales pueden diferir significativamente en su carácter y propiedades entre sí. Por ejemplo, el espaciamiento entre puntos de muestreo (i.e., perforaciones) para un depósito mineral que exhibe gran continuidad geológica y de calidad (p.e., una capa de caliza homogénea o de yeso homogéneo) será generalmente mayor que en situaciones donde pequeños cambios laterales o verticales en composición química, mineralogía, textura, color, o morfología dentro de un depósito de mineral industrial puedan tener un impacto significativo sobre la utilidad del producto (CIM, 2023).



Durante las actividades de exploración es posible obtener muestras con diferentes objetivos, como son:

- Características litológicas de las unidades geológicas
- Composición mineralógica
- Características físicas y/o químicas de las unidades litológicas, para obtener información de calidad.
- Composición química
- Granulometría
- Textura y estructura de las rocas o materiales
- Cualquier cambio en estas características a lo largo del yacimiento (*Moon et al., 2006*).

En la Fotografía 5 y Fotografía 6 se ilustran algunas técnicas de muestreo para algunos tipos de yacimientos de rocas y minerales industriales.

*Fotografía 5. Muestreo de canal en bancos de explotación.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*



*Fotografía 6. Apique para muestreo en depósito de minerales industriales.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

*Fotografía 7. Almacenamiento de muestras de núcleos de perforación.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

Es importante identificar el objetivo del muestreo, de manera que se definan los procedimientos de muestro y los análisis a realizar.



### Homogenización y empaque de la muestra

- El material acumulado en la lona se homogeniza mediante mezclado; éste debe hacerse cuidadosamente para evitar selección y segregación de granos dentro de la lona y perder muestra.
- Posteriormente se cuartea, desechando las fracciones diagonales opuestas, tal como se describe en el método B de la norma AASHTO T 248 (2014).
- Luego se separan cuatro (4) fracciones representativas, las cuales serán empacadas directamente en bolsas plásticas calibre 4 o 5, de 30 cm de ancho x 40 cm de largo, previamente rotuladas.
- El sellado de la bolsa es recomendable hacerlo con un rollo en la boca de la bolsa con una abrazadera o en su defecto con cinta transparente, asegurándose que la mayor cantidad de aire dentro de la bolsa haya sido extraída, luego torcer la boca de la bolsa y pegarlo con cinta al cuerpo de esta.
- Una vez la muestra es empacada y sellada, debe ser puesta dentro de otra bolsa del mismo tamaño y calibre, con el objetivo de evitar perforaciones o rasgaduras en la primera bolsa.
- Se recomienda que ambas bolsas estén marcadas, mínimo indicando el número de la muestra. Debe asegurarse que la marcación no se borrará, se dañará o se perderá, ya que, sin esta información, la muestra no tiene validez.

*Fotografía 8. Limpieza de muestras, marcado, rotulado y empaçado, materiales blandos.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

### Recomendaciones

- Establecer el objetivo del muestreo, litologías o zonas a muestrear.
- Definir la información mínima a recolectar durante el muestreo, de ser posible diseñar fichas de muestreo que contengan dicha información.
- Definir procedimientos de muestreo claros y capacitar al personal encargado de tales actividades.
- Establecer el grado de precisión aceptable según la etapa del proyecto: prospección, exploración o caracterización de yacimientos
- Las ubicaciones de las muestras deben registrarse en un mapa geológico o en un registro en forma separada, como una libreta de campo. Las ubicaciones de todas las muestras deben estar claramente



marcadas en el campo para que el lugar donde se recolectaron las muestras pueda ser visitado nuevamente cuando sea necesario (CIM, 2018).

- Conservar un grupo de muestras de mano que exhiban las características representativas de los materiales/minerales de interés en la exploración, para uso posterior como referencia y para capacitación (CIM, 2018).
- Documentar la información relacionada al método de recolección de información, equipos empleados, calibración de equipos (en caso de aplicar) y frecuencia y fechas de la calibración.
- Dejar registro fotográfico de las muestras, antes y después de empaquetadas, evidenciando los procedimientos de aseguramiento y custodia de estas.

Para más información sobre muestreo en rocas y minerales industriales, se recomienda consultar el Protocolo para el Muestreo de Arcillas publicado por el Servicio Geológico Colombiano en el año 2018.

### **3.8. Muestreo de Volumen y/o Minería de Prueba**

En rocas y minerales industriales que van a ser parte esencial en la producción de otros productos (ej, cemento, pinturas, cerámica) estos muestreos se realizan principalmente, enfocados en la evaluación del desempeño del mineral o su comportamiento en la mezcla cuando interactúa con otros minerales, determinando así las características del producto final. Por lo anterior, este tipo de muestreo se usa especialmente en ensayos para plantas piloto.<sup>[2]</sup>

Este tipo de muestreo es común en etapas avanzadas del proyecto, sin embargo, el profesional líder es el encargado de definir si las realiza, acorde con las características del yacimiento.

### **3.9. Preparación y Análisis de la Muestra**

Las especificaciones del cliente para los productos de rocas y minerales industriales se basan con frecuencia, tanto en las propiedades físicas como en las características químicas del mineral, como se muestra para varios minerales industriales en la Tabla 3, que presenta un resumen de algunas rocas y minerales industriales, usos principales y algunas características de calidad.

Las pruebas de muestras deben incluir aquellas que proporcionen las características físicas y los análisis químicos relacionados con las especificaciones del producto final. Ejemplos de factores relacionados con las especificaciones finales de calidad del producto para un mineral industrial pueden incluir.

- Dureza
- Color
- Tamaño y dimensiones de las partículas
- Distribución granulométrica
- Grado (o valor) del tamaño de partícula por tamaño,
- Forma de partículas
- Cristalinidad,
- Concentración máxima de elementos (o compuestos) indeseables
- Concentración mínima de elementos (o compuestos) deseados
- Densidad del producto
- Abrasividad del producto
- Otros



Tabla 3. Características de calidad y propiedades relevantes de algunos minerales industriales.

MINERAL / MATERIAL	USO / MERCADO	CALIDAD	PROPIEDADES FÍSICAS / QUÍMICAS
<b>Sílice, granate, corindón y diamantes</b>	Abrasivo		Dureza, friabilidad, tamaño de grano
<b>Barita</b>	Lodos de perforación	>90% BaSO <sub>4</sub>	Densidad
	Vidrios	96% a 98% BaSO <sub>4</sub>	
	Pigmentos/Pinturas	>94% BaSO <sub>4</sub>	Brightness, pH
<b>Bauxita</b>	Alúmina	50% a 55% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Contenido de sílice, óxidos de hierro y TiO <sub>2</sub>
	Refractarios	59% a 61% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
<b>Bentonita</b>	Lodo de perforación		Viscosidad, punto de cedencia, volumen de filtrado
	Arena de fundición		Contenido de agua, límite líquido, pH, contenido de CaO
	Absorbente		Tamaño de gránulo, absorptividad, pH, densidad y durabilidad
<b>Cromita</b>	Pigmentos, preservación de madera, acero inoxidable y refractarios	>45% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Relación Cr:Fe
<b>Agregados de Roca Triturada</b>			Abrasión en máquina de Los Ángeles, sulfatos, prueba de solidez, prueba de congelación y descongelación.
<b>Diatomita</b>	Filtración		Tasa de flujo, claridad, pH, distribución de tamaño de partículas / tamaño de poros, absorptividad
	Rellenos (“Fillers”)		Brightness, absorción de aceite
<b>Feldespatos</b>	Vidrio	4% a 6% de K <sub>2</sub> O, 5% a 7% de Na <sub>2</sub> O, 19% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	Pintura, relleno (“filler”) de plástico y caucho		Brightness, absorción de aceite, finura de grano Hegman, granulometría, área superficial, densidad
<b>Caolín</b>	Papel, pintura, cerámica		Brightness, color, opacidad, tamaño de partículas, viscosidad
	Absorbente		Granulometría, absorptividad, pH, densidad, durabilidad
<b>Caliza (Carbonato de calcio)</b>	Cal agrícola	>80% CaCO <sub>3</sub>	< 8% humedad, 80% menor a malla 8
	Cemento	>92% CaCO <sub>3</sub>	
	Vidrio	>98% CaCO <sub>3</sub>	< 0.05% de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Producción de Cal	>90% CaCO <sub>3</sub>	< 3 % impurezas
	Polvo de mina	>95% CaCO <sub>3</sub>	< 2% SiO <sub>2</sub>

Fuente: Carr (1994), Lamar (1961) y Vanderbilt Minerals (2013) en CIM (2023).



Deben seleccionarse métodos de perforación y muestreo que no afecten negativamente a las propiedades físicas y/o químicas in situ del mineral o minerales objetivo. Por ejemplo, el grafito se valora por su contenido en carbono grafitico, tamaño de las escamas y distribución del tamaño de las escamas. Los métodos de perforación como la circulación inversa o la perforación por percusión pueden afectar negativamente al tamaño de las escamas de grafito y a su distribución en comparación con el valor in situ de dichas propiedades (CIM, 2023).

### Métodos analíticos

La determinación de las características químicas, físicas y de desempeño de una roca o mineral industrial a menudo implica procedimientos y pruebas que son especializados y no forman parte de la actividad rutinaria de un laboratorio analítico centrado en el ensayo de muestras de metales base o metales preciosos (CIM 2023).

La mayoría de las veces, dichos análisis son llevados a cabo en laboratorios internos (propios) que no necesariamente cuentan con certificaciones, pero sí deben contar con estrictos protocolos de aseguramiento y control de calidad, que les permitan generar resultados válidos. En la Fotografía 9 se muestra un laboratorio en mina para análisis de calidad.

*Fotografía 9. Laboratorio en mina para análisis de calidad.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

Entre los métodos analíticos empleados en las rocas y minerales industriales, es posible diferenciar entre análisis preliminares y análisis específicos, que buscan conocer en mejor detalle las propiedades de los materiales. Los análisis preliminares buscan conocer las propiedades generales de un material, ayudan a destinar su uso.

Los análisis específicos buscan conocer en mejor detalle las propiedades de los materiales. Pueden ser ensayos particulares de las empresas para medir plasticidad, distribución de tamaño de partículas, área superficial, composición mineralógica, entre otros; en algunos casos, pueden realizarse análisis más especializados que permitan obtener características de desempeño o a nivel de prueba piloto para determinar el comportamiento



del mineral en el producto final. Pueden ser por ejemplo, velocidad de formación, demanda de defloculantes, propiedades físico-cerámicas, viscosidad de barbotinas, blancura, cobertura, índice de puzolanidad.

### 3.10. Control de Calidad / Aseguramiento de la Calidad (QA/QC)

La mayoría de las veces, los análisis realizados para rocas y minerales industriales son llevados a cabo en laboratorios internos (propios) que cuentan con buenas prácticas establecidas y protocolos válidos, ya sea por normas de calidad ISO o por sistemas de gestión de calidad desarrollados e implementados por la misma empresa, más que en parámetros y certificaciones internacionales. Si este es el caso, se debe asegurar que los protocolos internos y el sistema de gestión de calidad sea lo suficientemente estricto, los equipos cuenten con procedimientos de metrología, y se desarrollen los programas de capacitación necesarios para el personal que realiza las mediciones.

Es común que las empresas desarrollen sus propios métodos y curvas de medición, los cuales son validados usando muestras estándar o patrones (ya sea propias o comerciales) y/o con prácticas de comparación de resultados con laboratorios externos.

En muchos casos, los niveles de elementos o compuestos contaminantes pueden desempeñar un papel importante para determinar si se puede declarar un Recurso Mineral para un yacimiento de rocas y minerales industriales. En estos casos puede ser igualmente importante implementar un programa de QA/QC para los elementos o compuestos contaminantes además del elemento o compuesto principal de interés económico (CIM, 2023).

#### Recomendaciones

- Enumeración correcta de la muestra, empaque y rotulado apropiado y resistente, envío al laboratorio con hoja de remisión y en condiciones de seguridad óptimas.
- Una vez las muestras son recibidas por el laboratorio, se debe dejar constancia del inventario y estado de las muestras y se realiza su ingreso para seguir su trazabilidad y continuidad.
- Luego de los análisis, las contramuestras deben ser almacenadas en litotecas que permitan asegurar su debida custodia con trazabilidad y continuidad interna.

### 3.11. Densidad

La densidad de la roca es una información esencial para la estimación de los Recursos y las Reservas Minerales. Este cálculo se vuelve indispensable si se necesita presentar la estimación en unidades de peso.

Para el caso particular de las rocas y minerales industriales, no todas requieren la densidad aparente, ya que, en algunos casos, los Recursos y las Reservas Minerales se reportan en unidades de volumen ( $m^3$ ), como es el caso de los materiales de construcción (arenas, gravas, recebo).

En los casos en que aplica, los métodos utilizados para determinar los valores de densidad deben ser descritos, al determinar la densidad del cuerpo mineral deben tenerse en cuenta los espacios vacíos o cavidades que puedan estar presentes para evitar una sobreestimación del tonelaje (CIM, 2023)

#### Recomendaciones

- También debe determinarse la densidad del material estéril que es susceptible de ser extraído.



- En caso de contar con valores de densidad preexistentes, estos deben ser validados. Algunos procedimientos de validación incluyen la duplicación de mediciones, el uso de métodos alternativos de medición o el uso de materiales de densidad conocida.
- Factores como la mineralogía, el grado de meteorización y el contenido de humedad pueden ser muy variables y tener un impacto significativo en la densidad. Estos factores deben ser considerados por el profesional líder. Por ejemplo, cuando las estimaciones de recursos minerales deben prepararse sobre la base del tonelaje de graneles secos in situ, es importante documentar la naturaleza y la distribución espacial del contenido de humedad.

### 3.12. Bases de datos

Una base de datos es una recopilación organizada de información o datos estructurados, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático. Los datos de los tipos de bases de datos más comunes se suelen almacenar como estructuras de filas y columnas en una serie de tablas para facilitar su procesamiento y consulta. Así, los datos se pueden acceder, gestionar, modificar, actualizar, controlar y organizar fácilmente (Oracle, s.f).

Tener una base de datos es una práctica ampliamente difundida en la industria minera, la cual consiste en almacenar toda la información recolectada a lo largo de la historia del desarrollo de un proyecto minero (CIM, 2018).

En la base de datos debe almacenarse los datos primarios y los datos interpretados. Los datos primarios son aquellos susceptibles de medición física directa, como atributos geológicos, resultados de los diferentes ensayos (geoquímicos, geofísicos, de densidad, RQD, etc), datos de los sondeos, grado de meteorización, fotografías de testigos, etc. Los datos primarios también pueden incluir los volúmenes de excavación, la topografía, la producción de la mina y la información de la planta de procesamiento (CIM, 2019)

Los datos interpretados consisten en interpretaciones basadas en los datos primarios. Algunos ejemplos son las proyecciones geológicas, la correlación de intervalos mineralizados, los límites de mineralización representados y los dominios de estimación múltiple (CIM, 2019).

### Recomendaciones

Una base de datos podría incluir la siguiente información, que puede cambiar según el tipo de muestreo realizado (CIM, 2019):

- Datos geológicos como litología, mineralogía, estructuras, etc.
- Tipos de muestras
- Ubicación de la muestra o de la perforación, según corresponda
- Longitud del barreno
- Diámetro del núcleo o de la perforación, si aplica
- Datos del estudio de desviación en el fondo del pozo
- Datos topográficos
- Datos geofísicos
- Datos geotécnicos
- Datos geoquímicos



- Métodos de ensayo
  - Resultados de ensayos
  - Datos control y aseguramiento de la calidad (QA/QC)
  - Datos sobre la calidad de la roca
  - Información sobre la densidad aparente
  - Fechas de la actividad.
- 
- Usar las plantillas definidas en el logueo, muestreo, cartografía geológica, geotecnia y todas las que se usen en el proyecto, para crear las tablas que conformaran la base de datos.
  - Crear la base de datos usando un software, puede ser un software libre que es gratuito. No se requiere de softwares robustos (a menos que así se desee y se necesite), sino uno que sea de fácil acceso y manejo.
  - Crear diccionarios de datos para minimizar el ingreso de errores a la base de datos. Estos diccionarios deben ser flexibles y pueden cambiarse en el momento que se genere nueva información en el proyecto minero.
  - Crear los campos de las tablas de la base de datos en el formato apropiado para poder realizar fácilmente las consultas. Ejemplo: las concentraciones de elementos y/o compuestos guardarlas en formatos numéricos.
  - Usar bases de datos normalizadas, lo que busca reducir los datos redundantes, proteger la integridad de los datos y disminuir los problemas al actualizar los datos.
  - Auditar la base de datos frecuentemente.
  - Hacer copias de seguridad de la base de datos con cierta regularidad y mantener estas copias en lugares seguros externos, lo mismo que hacer copias de seguridad frecuentes de cualquier dato digital (fotos, imágenes, mapas, entre otros)



#### 4. ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES

La evaluación para la estimación de recursos minerales para depósitos de rocas y minerales industriales es similar a la que se realiza para la estimación en depósitos de minerales metálicos,

La clasificación de un yacimiento de minerales industriales para recursos minerales se ve afectada en gran medida por una serie de factores que son menos aplicables a los depósitos minerales metálicos, entre ellos: características físicas y químicas particulares, aspectos relativos a la calidad de los minerales, tamaño del mercado, el nivel de conocimientos del productor en materia de aplicaciones técnicas, concentración del mercado y gastos de transporte (Miree et al., 2003).

Adicionalmente, como ya se ha mencionado, en la estimación de recursos tiene un peso importante el mercado en el cual el mineral industrial será comercializado. Una roca o mineral industrial puede ser empleado en un número importante de productos y un único producto puede usar un número importante de diferentes rocas o minerales industriales. (Borded & Butt, 2014). Según (Miree et al., 2003), al estimar un recurso o una reserva mineral para un depósito de rocas y minerales industriales, el profesional responsable debe dar prioridad a:

- i) el valor del producto mineral previsto;
- ii) factores de mercado;
- iii) aplicabilidad de los criterios de mercado al yacimiento mineral objeto de evaluación.

Sin un mercado potencial, no hay recursos; sin un buen entendimiento del mercado objetivo (volumen, precio, competidores), no se tendrán reservas. (Borded & Butt, 2014)

De acuerdo con el ECRR® (2018), un recurso mineral se define como:

*“Concentración u ocurrencia de un material sólido con interés económico, en o sobre la corteza terrestre, de tal forma, cantidad, tenor o calidad, que hay perspectivas razonables para una eventual extracción económica.*

*La ubicación, cantidad, calidad, continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencias y conocimientos específicos, incluyendo el muestreo.”*

En la estimación de recursos minerales, el profesional líder debe realizar una evaluación consciente de la cantidad y calidad de los datos a partir de los cuáles se hacen las interpretaciones, así como establecer claramente los supuestos y limitaciones considerados en dicha estimación.

De acuerdo con la Guía de Buenas Prácticas para la estimación de recursos y reservas minerales de minerales industriales, publicada por el CIM en 2003 (*Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves –Industrial Minerals*), algunas de estas consideraciones que suelen ser particulares de los depósitos de rocas y minerales industriales, son:

- Para muchos depósitos de rocas y minerales industriales, el elemento de interés económico corresponde a uno o varios de los constituyentes primarios o compuestos minerales que forma como tal el depósito. Por ejemplo, el calcio en las calizas y mármoles, el magnesio en las serpentinas o el mineral caolinita en los depósitos de caolín.
- De acuerdo con el punto anterior, es común que todo el depósito sea considerado útil. Como se detallará más adelante, esto también dependerá del manejo de la calidad de los materiales una vez explotados, según los diversos mercados y usos.
- La densidad de datos requerida puede ser baja (mayor espaciamiento de los puntos de muestreo), ya que los depósitos de rocas y minerales industriales suelen presentar continuidad geológica y homogeneidad en su calidad. Sin embargo, cada depósito debe analizarse independientemente porque podría ser que, en casos



específicos, se requiera un muestreo detallado cuando pequeños cambios laterales o verticales tengan un impacto significativo en la utilidad del material.

- La calidad en los depósitos de rocas y minerales industriales está dada por las especificaciones que se pactan con cada uno de los clientes, para las propiedades que se definan dependiendo de los diferentes usos.
- Como se mencionó antes, la determinación de las características químicas, físicas y de desempeño en un depósito de rocas y minerales industriales a menudo implica procedimientos y pruebas de laboratorio que son especializadas y no forman parte de la actividad rutinaria de un laboratorio analítico certificado. Por lo tanto, es común que dichos análisis sean realizados en laboratorios internos (propios) de las compañías o titulares mineros, los cuales no cuentan con certificaciones. En cualquier caso, los laboratorios si deben contar con estrictos protocolos de QA/QC, lo que los hace válidos para ser usados en las estimaciones de recursos minerales.
- Los proyectos mineros asociados a depósitos de rocas y minerales industriales suelen ser operaciones simples con bajos niveles de inversión y riesgo, por lo que muchas veces se considera que no requieren estudios formales de prefactibilidad y factibilidad.

Es de gran importancia resaltar que en todas las estimaciones de recursos minerales existen limitaciones, supuestos e incertidumbres inherentes al proceso, que muchas veces no pueden ser declaradas de forma explícita en los reportes.

En la fase de estimación de recursos minerales se utiliza toda la información adquirida en las actividades de las fases previas y se generan nuevos insumos para las fases subsecuentes.

#### **4.1. Modelo geológico e interpretación**

En la preparación de modelos geológicos y estructurales de un depósito de rocas y minerales industriales se aplican muchos de los principios y prácticas que se utilizan para modelar las principales unidades litológicas y características estructurales de los demás tipos de depósitos.

Al realizar modelos geológicos, siempre se deben tener presente las siguientes consideraciones:

- Los modelos geológicos tienen límites y solo representan la realidad hasta cierto punto.
- No importa cuánto ni cómo se haga un modelo geológico; siempre hay posibilidad de que las predicciones y estimaciones resulten erróneas.
- Al preparar modelos geológicos, estructurales y de mineralización de un depósito de rocas y minerales industriales, el conocimiento anticipado de las especificaciones de la calidad del producto es una consideración clave. El profesional responsable debe usar un juicio razonable en el contexto del tipo, el estilo y la formación del depósito mineral en particular que se está evaluando y anticipar los usos finales de la roca o mineral industrial.

Independiente del tipo de depósito que se esté modelando, la interpretación del modelo geológico es responsabilidad del profesional de las geociencias, quien deberá tener en consideración factores como su conocimiento y experiencia en el depósito específico o en depósitos similares, la continuidad geológica, estratigráfica y estructural del depósito, la cantidad de la información disponible y el grado de confianza y calidad de dicha información. De lo anterior va a depender la interpretación geológica que se haga del depósito (CIM, 2023)

Según Ronald (2017), las Reglas Generales para modelamiento geológico (*Rules of Thumb* -RoT) que se deben tener en cuenta para realizar un modelo geológico exitoso, robusto y útil, en cualquier tipo de depósito, son:

1. Preguntarse, cuál es el propósito del modelo geológico, en otras palabras, cuál es su finalidad o qué característica es la de interés.



2. Tener un amplio entendimiento del depósito y su geología, génesis, relaciones estratigráficas y estructurales. Esto significa que el profesional que está realizando el modelo debe tener amplio conocimiento del depósito en cuestión o de depósitos similares.
3. Incorporar todos los datos confiables. Si bien algunos paquetes software especializado desarrollan modelación implícita, el profesional debe realizar las comprobaciones necesarias que le permitan confiar en que el modelo geológico representa la información de los datos. El modelo geológico funciona mejor con mayor cantidad de información, incluso los datos antiguos o sobre los que se tienen dudas sobre su confianza, pueden proveer información valiosa para el modelo.
4. Conocer los datos. Realizar análisis exploratorios de los datos (EDA), lo cual permitirá determinar la mejor forma de agruparlos o separarlos en los diferentes dominios.
5. Primero pensar en términos regionales y luego llevarlo a escala local. Los modelos geológicos deben ser construidos a partir de una perspectiva regional llevada e interpretada a la escala local del depósito. Es necesario tener un entendimiento de la estratigrafía y la tectónica regional para que el modelo geológico del depósito tenga sentido.
6. Empezar con un “esqueleto” estructural. Se recomienda primero entender la configuración estructural de depósito para luego trabajar en la litología, estratigrafía, alteración, etc.
7. El modelo debe ser tan simple como se requiera. La explicación más simple para una complejidad geológica, por lo general suele ser la correcta. A menos que algún factor afecte el plan de minado o el negocio como tal, éste no debería ser incluido en el modelo.
8. No olvidarse de los materiales estériles. Muchas veces los modelos geológicos se centran en los materiales útiles, sin embargo, y dependiendo de la finalidad del modelo, se debe analizar si se requiere incluirlos en la modelación.
9. Revisar el modelo. El profesional debe asegurarse que el modelo geológico tiene sentido en todas las direcciones y que representa de forma confiable el depósito.

#### **4.1.1. Dominios de estimación**

Los modelos geológicos suelen separarse por dominios, los cuales consisten en un grupo o sección del modelo que se puede separar geológica y/o estadísticamente de manera aceptable.

Algunos criterios para definir dominios geológicos son:

- Diferencias en la litología o mineralogía.
- Zonas dentro del modelo que han sido medidas con diferentes soportes.
- Áreas que presentan una diferencia debido al efecto de alteraciones o por meteorización.
- Áreas con diferentes densidades de muestreo. Se debe tener especial cuidado con el sobremuestreo, porque muchas veces se tiende a hacerlo en áreas de alta variabilidad.
- Zonas de discontinuidades estructurales o estratigráficas.
- Distribución espacial de tenores o calidades.

Cuando a partir de un depósito de mineral industrial dado se pueden obtener varios productos diferentes a partir de diferentes partes del depósito, el profesional debe considerar el “*mayor y mejor uso*” para cada parte del depósito, y clasificar cada parte por separado (CIM, 2023).



## 4.2. Técnicas de estimación y modelado

La estimación de los recursos minerales puede dividirse en dos partes: 1) la estimación del volumen o tonelaje de los recursos minerales; 2) la estimación y distribución de la calidad de acuerdo con las propiedades químicas o físicas que son de interés.

### 4.2.1. Estimación del volumen o tonelaje de los recursos minerales

Existen diversas técnicas y metodologías para realizar la estimación del volumen o tonelaje y la categorización de los recursos minerales.

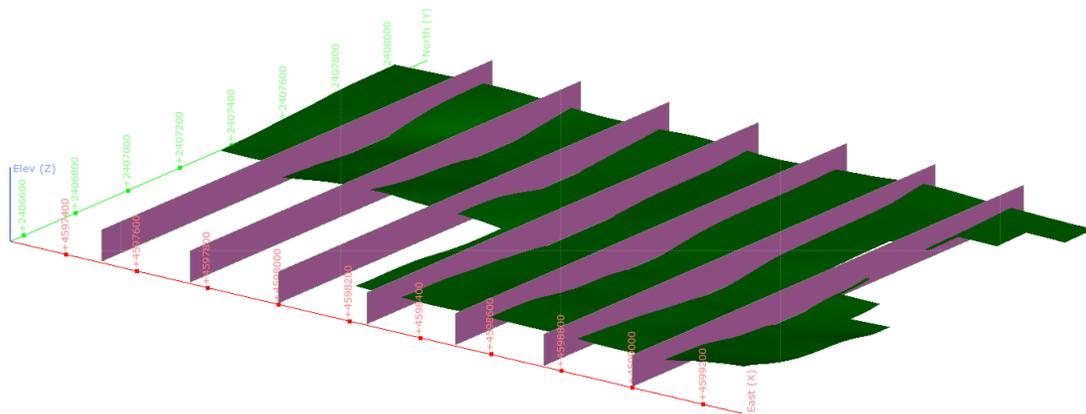
El método más sencillo y que no requiere el uso de software especializado, consiste en el método de perfiles. Este método es particularmente aplicable a los yacimientos no tabulares o aquellos con una geometría irregular que han sido evaluados mediante perforación en secciones de minas o límites de paneles. Los depósitos tabulares podrían evaluarse de esta manera, pero otros métodos son preferibles (Annels, 1991).

En este método se realizan perfiles equidistantes, luego se miden las áreas del cuerpo de interés en cada perfil; el volumen asociado con cada sección se puede definir extendiendo su área por medio espacio de sección a cada lado:

$$\text{Volumen total} = \sum_{i=1}^n (A_i \times D)$$

donde D es el espaciado de sección y  $A_i$  es el área de cada sección

Figura 2. Estimación de volúmenes por método de perfiles.



Fuente: Los autores.

Esta metodología tiene un nivel menor de precisión en la determinación del volumen o tonelaje.

La aplicación de técnicas modernas mediante el uso de software especializado permite definir modelos tridimensionales (wireframe) o crear modelos de bloques a partir de los cuales se realiza una estimación más precisa del volumen o tonelaje de los recursos minerales. Sin embargo, la palabra clave es “estimación”, ya que estos valores serán siempre unos aproximados.

### 4.2.2. Estimación de la distribución de la calidad



La estimación de la distribución de las calidades o de las propiedades físicas o químicas, dentro de un depósito de rocas y minerales industriales es un proceso generalmente relevante, desde el punto de vista técnico y económico, para depósitos de rocas y minerales industriales. Cada yacimiento es único y, por lo tanto, el profesional deberá realizar un análisis específico que le permita determinar la relevancia y necesidad de contar con una estimación de la distribución de la calidad. Este análisis tendrá siempre la premisa de que el objetivo del proyecto minero tiene como base la rentabilidad del negocio. Acorde con los principios del ECRR®, el profesional debe soportar de manera adecuada las razones por las que decide no elaborar un modelo de calidad.

Desde el punto de vista técnico, la relevancia de un modelo de calidad se ve afectada porque las rocas o minerales industriales que se explotan en un mismo depósito usualmente son comercializadas en diferentes mercados, para diferentes usos y diversos clientes; cada uno con sus propias especificaciones de calidad. Adicionalmente, dichas especificaciones pueden ser variables y dinámicas en cortos periodos de tiempo.

Un ejemplo donde la relevancia es menor lo constituyen las canteras para explotación de recebo, donde la estimación de recursos generalmente no se lleva más allá de una estimación volumétrica, con algunos parámetros de calidad.

Desde el punto de vista económico, las rocas y minerales industriales suelen ser comercializados a precios bajos mientras que los costos asociados a la operación minera, procesamiento, transporte, manejo y gastos generales son altos, por lo que la rentabilidad del negocio se verá fuertemente afectada al realizar grandes inversiones en la cantidad necesaria de muestreos sistemáticos in-situ que se requieren para llevar a cabo un proceso de estimación, y más aún si el modelo de calidad es irrelevante desde el punto de vista técnico.

Una vez el profesional define la relevancia de contar con un modelo de estimación de la distribución de la calidad, puede determinar el método más apropiado para realizarla.

Existe una serie de métodos para estimar la calidad, tanto convencionales o tradicionales como geoestadísticos, y en años recientes los relacionados con la inteligencia artificial.

#### A) Métodos tradicionales o convencionales

Las minas fueron evaluadas y las reservas de mineral estimadas mucho antes del desarrollo de los enfoques informáticos y geoestadísticos. Se midieron áreas, se calcularon volúmenes y tonelajes, y se promediaron las calificaciones usando papel y lápiz, reglas de cálculo y calculadoras. Los resultados de estas estimaciones generalmente no fueron peores, y en muchos casos considerablemente mejores que algunas estimaciones recientes realizadas utilizando geoestadística sin un control geológico adecuado (Stone & Dunn, 2012).

La mayoría de las técnicas convencionales clásicas para interpolar datos en áreas entre puntos de muestra se desarrollaron para reducir la aritmética requerida tanto como sea posible. Las más simples son las técnicas de polígonos y de sección transversal. La ponderación inversa de la distancia se hizo popular una vez que las computadoras pudieron usarse para los cálculos. Los métodos convencionales más representativos son resumidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Métodos convencionales o tradicionales de estimación.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN
<b>Media Aritmética:</b>	Este método consiste en promediar las leyes de los datos que están dentro del bloque que se está estimando.
<b>Polígonos</b>	El método de los polígonos consiste simplemente en ponderar el valor de la variable en cada punto por el área o volumen de influencia. Con esto, se puede determinar la media global ponderada, tomando en cuenta la influencia que cada muestra tiene en el dominio.
<b>Inverso de la distancia</b>	Consiste en ponderar las muestras cercanas al punto a estimar por el inverso de la distancia elevado a alguna potencia (en general, entre 1 y 2). La suma de todas las muestras ponderadas, dividida por la suma de los ponderadores entrega el valor estimado en el punto que se quería estimar.
<b>Vecino más cercano</b>	Mide la distancia entre cada centroide de entidad y la ubicación del centroide de su vecino más cercano. Este estimador atribuye toda la ponderación al dato más cercano al sitio a estimar.



*Fuente: Los autores*

Para más información pueden remitirse a la guía de buenas prácticas de depósitos de yacimientos polimetálicos (ANM, CCRR®, 2023)

## B) Métodos geoestadísticos

Con estos métodos se aplica la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de los recursos minerales. La variable regionalizada es una función que representa la variación en el espacio de cierta magnitud asociada a un fenómeno natural. Adicional a esta teoría, se hacen las estimaciones por medio del krigeado, el cual consiste en encontrar la mejor estimación lineal insesgada de un bloque considerando la información disponible; es decir, las muestras interiores y exteriores.

Según Alfaro (2007), los métodos tradicionales son empíricos, demasiado geométricos, no consideran la continuidad de la calidad y la posible presencia de anisotropías, es decir, direcciones en las cuales la variación de calidades es privilegiada y, sobre todo, los métodos tradicionales de estimación no proporcionan el error asociado a la estimación.

En general, estos métodos presentan un fenómeno conocido como sesgo condicional, el cual se traduce en la práctica por una sobrestimación de las leyes altas y una subestimación de las leyes bajas.

La selección del método o técnica de estimación depende del tipo de yacimiento, así como de la cantidad y calidad de la información disponible. Al final, es el profesional que, de acuerdo con su experiencia en este tipo de yacimientos, define el método más adecuado. Para el caso de depósitos de rocas y minerales industriales, es común encontrar que la cantidad de datos no es suficiente para soportar estimaciones por métodos geoestadísticos.

Si la estimación de la distribución de la calidad puede hacerse usando métodos geoestadísticos, es importante tener en cuenta que muchos yacimientos de rocas y minerales industriales están sujetos a un efecto pepita (CIM, 2003). El efecto pepita puede ser causado por:

- a) El tamaño del grano o de los cristales (p.e. cristales grandes en las pegmatitas o granos de mayor tamaño debido a minerales más resistentes a procesos de meteorización y/o alteración).
- b) Errores intrínsecos y aleatorios que se producen durante el muestreo, la manipulación, la preparación y los análisis de laboratorio.
- c) La precisión y los límites de detección de los métodos analíticos.
- d) Insuficiente densidad de muestras que permitan la observación del fenómeno (Alfaro, 2007).

Por otra parte, muchos depósitos de rocas y minerales industriales pueden presentar anisotropías muy débiles y los alcances de correlación entre las muestras son muy amplios.

Otro punto de gran relevancia en este caso es que muchas de las propiedades físicas y de desempeño sobre las cuales se pactan las especificaciones de calidad con el cliente, son propiedades que no son aditivas, como por ejemplo las pruebas de desempeño (desgaste, velocidad de casting, índice de puzolanidad), pruebas con aditivos (susceptibilidad al blanqueo), propiedades o variables que no cumplen con los principios de la teoría de las variables regionalizadas.

### 4.3. Errores más Comunes al Momento de Hacer una Estimación de Recursos Minerales

Lo primero y más importante que siempre se debe tener en cuenta con respecto a un proceso de estimación de recursos minerales, es que **TODOS LOS ERRORES SON ADITIVOS**. Esto se refiere a que todos los errores que ocurran desde las primeras etapas se van “acumulando” y al final se verán reflejados en las estimaciones.



A continuación, se listan algunos de los errores más comunes:

- Errores en las primeras etapas: errores sistemáticos (p.e. localización de puntos de muestreo, calibración de equipos) y errores aleatorios (digitación de los datos, muestreo, preparación de muestra, medición, contaminación).
- Trazado de límites erróneos en los dominios, lo cual impacta la definición del modelo geológico.
- Incapacidad de generar un cuerpo lo suficientemente continuo que cumpla con los requerimientos para hacer una estimación de la distribución de la calidad de la(s) propiedad(es).
- La cantidad y calidad de los datos disponibles al momento de realizar la estimación y la variabilidad propia de las rocas y minerales de interés.

#### **4.4. Calidades Apropriadas de Producto Vendible**

Se pueden utilizar múltiples factores para evaluar la calidad o el valor de un mineral industrial durante el proceso de estimación de recursos minerales. El profesional responsable debe conocer los métodos disponibles para estimar el "valor" de cada bloque de un recurso y justificar la selección del método empleado. Entre las técnicas disponibles (Miree et al., 2003), se pueden listar:

- Estimar la variable principal (por ejemplo, porcentaje mineral) y utilizar las otras variables como indicadores. La razón de esto es que el potencial de error puede ser mayor cuando el método de estimación utilizado está sesgado condicionalmente para uno o todos los parámetros de calidad. El recurso incluirá solo aquellos bloques que excedan las especificaciones mínimas para todos los parámetros. Si bien este enfoque puede llevar a la exclusión de bloques marginales del recurso, estos bloques marginales podrían extraerse y mezclarse con otro material para proporcionar un producto que cumpla con las especificaciones requeridas.
- Estime cada factor por separado. Cada bloque es aceptado o rechazado (con o sin mezcla con otro bloque o bloques). Se requieren datos adecuados, y se necesita un método de estimación apropiado, para cada factor.
- Utilizar co-kriging u otros métodos geoestadísticos que tengan en cuenta la correlación entre factores. Este método es útil cuando un factor es más conocido que otros. Aplicado con sensatez, maximiza efectivamente todos los datos disponibles.
- Utilizar variables categóricas, este enfoque es particularmente aplicable en los casos en que el valor se ve afectado por una serie de covariables, algunas de las cuales son semicualitativas. Al tratar cada variable como una variable categórica y luego combinarlas en un "índice" que puede estimarse por medios geoestadísticos o de otro tipo, se evita la evaluación subjetiva. Este método puede ser especialmente útil en la estimación de recursos/reservas en canteras.

Las especificaciones y normas publicadas para rocas y minerales industriales deberían utilizarse principalmente como mecanismo de selección para establecer la comerciabilidad de un mineral industrial. La idoneidad de un mineral industrial para su uso en aplicaciones específicas solo puede determinarse a través de investigaciones de mercado detalladas y discusiones con consumidores potenciales (Miree et al., 2003).

#### **4.5. Base para Informar (Parámetros Físicos, Químicos, Etc)**

Como se mencionó anteriormente, es posible que el profesional determine que no es necesario realizar un modelo de estimación de la distribución de la calidad. Sin embargo, esto no excluye que como parte del debido proceso y de las buenas prácticas en el conocimiento geológico del depósito, es necesario llevar a cabo acciones que permitan obtener el suficiente conocimiento geológico del depósito, de forma que sea posible definir los potenciales usos y los mercados para los cuales se estaría destinando el material.



Las acciones necesarias para llevar a cabo una caracterización del depósito deben abarcar desde lo más básico, como la definición de la geología, hasta acciones específicas como la caracterización mineralógica y análisis físicos, químicos o de desempeño de los materiales. El nivel de profundización en el conocimiento y el tipo de análisis requeridos será establecido por el profesional teniendo como base qué tanta información requiere para definir un modelo geológico confiable y los potenciales usos, mercados y/o clientes.

#### **4.6. Perspectivas razonables para una eventual extracción económica**

Para que un depósito de mineral industrial sea declarado como Recurso Mineral, es necesario demostrar que el depósito satisface los requerimientos de “Perspectivas Razonables de Eventual Extracción Económica” tal como se define en el Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas – ECRR® (CCRR®, 2018).

Un factor determinante en la estimación de los recursos minerales es el entendimiento de la geología del depósito, esto incluye la geometría, extensión y calidad de este; con esta comprensión se puede proponer el método de explotación que se considere más eficiente.

Para verificar que el recurso mineral tiene una perspectiva razonable para su eventual extracción económica, la fase de estimación de recursos minerales debe considerar, de manera preliminar y general, aspectos económicos, legales, ambientales, sociales, de localización, de mercado y demás que puedan afectar la posible explotación del yacimiento.

El profesional debe realizar un análisis de dichos factores, basándose en información que muchas veces es secundaria o incluso que está sustentada en sus propios conceptos y experiencia profesional en este tipo de depósitos y que muchas veces no puede ser declarada de forma explícita.

Para más información pueden remitirse a la guía de buenas prácticas de depósitos de yacimientos polimetálicos (ANM & CCRR®, 2023)

#### **4.7. Criterio de Clasificación**

La clasificación o categorización de los recursos minerales es uno de los puntos más importantes ya que de ésta depende la conversión a reservas minerales, lo cual a su vez es una parte crítica de un proyecto minero. Sin embargo, la categorización es uno de los procedimientos más subjetivos, dado que está sujeta completamente a la opinión experta del profesional.

En general, las tres clasificaciones de Recurso Mineral (Medidos, Indicados, Inferidos) se definen con base en el nivel de confianza en la continuidad del depósito y sus características tales como tenor, espesor y otras características físicas o químicas (CIM, 2023).

Según Ortiz y Emery (2004) el profesional debe tener en cuenta diversos criterios para determinar el grado de confiabilidad de la estimación y de esta forma definir la categorización de los recursos minerales:

##### **4.7.1. Criterios Geológicos**

Es necesario tener una comprensión de la continuidad geológica del depósito, la cual puede obtenerse a partir del estudio detallado de los datos y por el grado de conocimiento de la geología regional y local. Por su naturaleza, la interpretación geológica y su continuidad son extremadamente subjetivas e implican un grado de incertidumbre que es difícil de cuantificar. Es de gran importancia tener en cuenta que la continuidad geológica



no necesariamente implica continuidad en la calidad del material. Al aplicar solamente este criterio, se corre el riesgo de no considerar las fluctuaciones en la calidad dentro de estructuras geológicamente bien definidas.

#### **4.7.2. Criterios Geométricos**

Cuando se cuenta con un modelo de estimación de la distribución de la calidad, es común asignar el grado de confianza de la estimación de un bloque, de acuerdo con la configuración espacial de las muestras utilizadas en su estimación (número de muestras usadas), definiendo así una distancia máxima de extrapolación. Si se utiliza sólo este criterio para la categorización de los recursos minerales, no se estarán teniendo en cuenta las anisotropías que podrían presentarse en la continuidad de la calidad.

#### **4.7.3. Criterios Geoestadísticos**

Los criterios geoestadísticos tienen en cuenta las direcciones y alcances definidos con base en el variograma y adicionalmente consideran la abundancia y redundancia de la información usada para la estimación de la calidad. Es común utilizar la medida del error de estimación para definir las categorías. La categorización de los recursos minerales debe tener en cuenta la incertidumbre proveniente de cada uno de los criterios anteriormente mencionados.

#### **4.8. Declaraciones de Recurso Mineral**

Se debe asegurar que en todas las declaraciones de Recurso Mineral para depósitos de rocas y minerales industriales se cumplan los requerimientos del Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas – ECRR® (CCRR®, 2018).

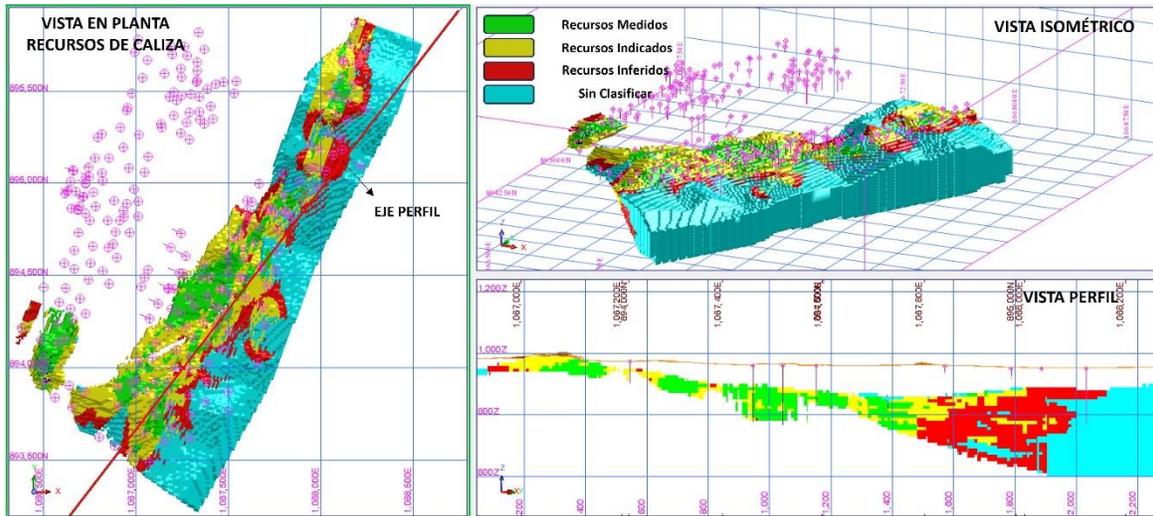
Al reportar Recursos Minerales debe reconocerse que las especificaciones químicas y/o físicas constituyen un factor significativo en el potencial económico de un depósito de rocas y minerales industriales.

En muchos casos, no es suficiente establecer solamente las concentraciones de los elementos para un depósito de rocas y minerales industriales. Las declaraciones de Recurso Mineral deben prepararse usando criterios relativos a la especificación del producto.

Al reportar Recursos Minerales, el profesional debe asegurarse que estén incluidos todos los factores de calidad y otros parámetros de entrada relevantes como parte del reporte de Recurso Mineral.



Figura 3. Categorización de recursos minerales para caliza.



Fuente: Cortesía Grupo ARGOS.



## 5. ESTIMACIÓN DE RESERVAS MINERALES

Las reservas minerales son estimaciones del volumen y la calidad del material contenido en un recurso mineral que puede extraerse y procesarse económicamente. Para que se considere una reserva mineral, deben aplicarse factores modificadores a la estimación de recursos minerales como parte de la preparación de un estudio de prefactibilidad, un estudio de factibilidad, e incluso en los proyectos que se encuentren en etapa de explotación. La cantidad estimada del mineral comercializable debe demostrar un Valor Presente Neto (VPN) positivo utilizando una tasa de descuento adecuada, y debe demostrar que la eventual extracción podría estar razonablemente justificada. Las principales categorías de factores modificadores incluyen, pero no se limitan a (CIM, 2019):

- Selección del método de explotación y diseño minero,
- Procesamiento y beneficio de minerales,
- Criterios y restricciones medioambientales,
- Ubicación de las obras y la infraestructura,
- Estudio de mercado,
- Legal (incluida la tenencia de la tierra y la propiedad de terceros),
- Análisis financiero,
- Social y
- Gubernamental.

Se requiere una estimación de los recursos minerales y un plan de explotación minera basado en diseños de minas a cielo abierto y/o subterráneas, así como programas de producción dentro de, al menos, un estudio de prefactibilidad para respaldar una reserva mineral.

Dependiendo del mineral a explotar y de las características que demanda el producto final, el profesional líder determinará si es necesario una opción de procesamiento, junto con una estimación o estimaciones de recuperación del producto y las inversiones y los costos operativos para extraer y procesar el mineral o el material de interés, y entregar el producto a un mercado que pueda absorber el volumen propuesto.

El análisis financiero debe estar bien documentado como parte del proceso de estimación de las reservas minerales. La demostración de la viabilidad económica requiere la estimación de los flujos de caja anuales después de impuestos y el Valor Presente Neto (VPN) del proyecto, así como la inclusión de todos los parámetros que tienen un efecto económico en el proyecto. Como mínimo, el VPN debe ser positivo utilizando un tipo de descuento razonable y adecuado a todos los riesgos del proyecto, para que la calidad y cantidad del mineral puedan calificarse como Reserva Mineral (CIM, 2019).

Las Reservas Minerales se estiman a partir de los Recursos Minerales Medidos e Indicados. Los Recursos Minerales Inferidos no pueden convertirse en Reservas Minerales.

Los profesionales deben documentar todos los aspectos de las Reservas Minerales estimadas para asegurarse de que no se omita ningún factor significativo. La planificación previa es importante para identificar los factores que afectan la estimación de las Reservas Minerales.

### 5.1. Factores modificadores

En el ECRR® se establece que “los Factores Modificadores son consideraciones usadas para convertir Recursos Minerales a Reservas Minerales. Estos incluyen, pero no se limitan a, factores de minería, procesamiento, metalúrgicos, infraestructura, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales.”

Los factores modificadores que se analizan en virtud de estimar las reservas minerales, se deben definir considerando el mineral o los minerales sobre los cuales se realiza la *exploración y se proyecta la posible explotación*, las características y disposición del yacimiento, la infraestructura presente o licenciada en el área, el estudio de mercado, la ubicación geográfica del área, los aspectos ambientales presentes en el área, los aspectos sociales y culturales presentes en la zona de influencia del proyecto, las consideraciones económicas



ligadas a la consolidación del proyecto, entre otros, que se puedan tener en cuenta de acuerdo con las situaciones o las características particulares de cada proyecto.

*“La evaluación de los depósitos de rocas y minerales industriales deben prestar especial atención en las características físicas / químicas y su relación con el potencial mercado. El procesamiento, transporte y logística suelen ser factores modificadores importantes para estos minerales, sin embargo, el mercado es el factor modificador dominante”* (Ausimm, 2014).

Una premisa fundamental es conocer el mercado que determina las especificaciones del producto. El amplio abanico de mercados disponibles para la mayoría de los minerales industriales es atractivo, sin embargo, resulta crucial lograr una sólida presencia en el mercado; los minerales sustitutos son otro factor crítico en la determinación del volumen del mercado y precio.

*“La parte más difícil de los minerales industriales para el estudio de prefactibilidad es el estudio de mercado, cualquier estimación o valoración de reservas de mineral deben estar respaldadas por un conocimiento profundo del producto y el proceso de fabricación del consumidor”*. (Ausimm, 2014).

A continuación, se describen algunos aspectos relevantes para el análisis de los factores modificadores en virtud de la estimación de las reservas:

### **5.1.1. Estudio de mercados**

En la estimación de reservas para rocas y minerales industriales es relevante reconocer la relación entre el producto y la demanda del mercado, y para esto es importante realizar una correcta caracterización basada en la experiencia y las expectativas de consumo, así como la necesidad de cubrir nuevas demandas en cuanto al suministro de rocas y minerales industriales.

Para esto es importante considerar la calidad del producto y su potencial, de tal forma que permita intuir su impacto y al mismo tiempo viabilizar la materialización de un proyecto minero para rocas y minerales industriales.

Los proyectos encuentran viabilidad por las oportunidades presentes en el mercado, ya que la capacidad de comercialización es el factor determinante para concretar los negocios.

Los productores de rocas y minerales industriales aplicarán las estrategias que consideren necesarias para garantizar la comercialización de los productos generados y en este sentido propiciar el equilibrio entre oferta y demanda, de acuerdo con las especificaciones exigidas por la industria.

Para determinar si un producto mineral es comercializable, podría ser necesario demostrar sus características físicas, químicas y/o de desempeño preparando una muestra representativa del producto final. Algunos productos de una explotación minera pueden venderse directamente desde la mina, pero otros requieren un tratamiento adicional (por ejemplo, procesos de conminución, concentración, clasificación, entre otros). Algunos productos se venden en el libre mercado, pero muchos se venden por contrato. Hay que tener en cuenta el método y los costos de transporte del producto hasta el comprador final, si están dentro del contrato o acuerdo de venta.

Dependiendo del producto, los elementos que alteran las calidades pueden restringir la comercialización del producto de la mina. Algunos clientes pueden tratar dichos elementos, mientras que otros no. Los profesionales líderes deberán proporcionar una valoración del riesgo de la comercialización del producto evaluado y de las penalizaciones que podrían pagarse por productos fuera de especificación. En la medida de lo posible, los profesionales también deberán identificar las limitaciones para la comercialización del producto mediante la identificación de restricciones particulares de los clientes.

Las fuentes de información para este análisis pueden incluir cualquier estudio de mercado relevante para la materia prima, incluida la oferta y la demanda, las proyecciones de precios, las valoraciones o las especificaciones del producto.

Identificar el mercado junto con los factores que influyen en la oferta y la demanda, así como los aspectos que propician el potencial éxito en la comercialización, es fundamental para determinar el retorno de la inversión y la valoración de activos mineros.



Como se ha indicado, las rocas y minerales industriales requieren de un análisis de mercado con variables más detalladas a partir de investigaciones donde se evidencie su verdadero potencial.

- **Parámetros de mercadeo**

De gran impacto para realizar la comercialización del producto de interés, es poder tener acceso a medios masivos de divulgación, donde se pueda describir concretamente la experiencia acumulada tras los años de estar comercializando el producto y la localización de esos mercados.

Luego también, es relevante citar las ventajas que ofrece poder adquirir el producto mineral y los principales sectores al que va dirigido el producto, por ejemplo: sector cerámico, sector agroindustria, infraestructura, sector hidrocarburos u otros sectores.

Los principales parámetros por considerar en un factor modificador de condición de mercado son:

- El segmento de mercado: particularmente para las rocas y minerales industriales, muchos de estos tienen múltiples usos en diferentes industrias; en estos casos se debe tener en cuenta parámetros de calidad que pueden señalar más fácilmente qué mercado específicamente está impactando. Cabe notar que el segmento de mercado de un depósito de un mineral industrial tiene al mismo tiempo varias subdivisiones dependiendo del sector económico y las condiciones y requisitos que impone cada demanda de mercado con las siguientes variables.
  - o Las propiedades físicas y químicas del depósito específico en consideración.
  - o Las tecnologías de producción adoptadas y el procesamiento propuesto para el mineral.
  - o El conocimiento de las aplicaciones del mineral producido.
  - o El tamaño de mercado disponible en cada segmento.
  - o El precio dispuesto a pagar en el mercado.
- Ubicación y Transporte: El mercado de rocas y minerales industriales se ve directamente afectado por la ubicación y el transporte. En muchos casos unas condiciones favorables en cuanto a la génesis del depósito y la disponibilidad de las reservas con unos costos bajos de producción se pueden ver en situación desfavorable si se tienen condiciones de ubicación y transporte adversas y lejanas a los centros de producción industrial.
- Tamaño del mercado: Algunas rocas y minerales industriales se producen en pequeña cantidad y/o tienen aplicaciones especializadas de bajo volumen. El profesional debe entender los límites de tamaño de mercado para un mineral industrial y desarrollar estimaciones de una Reserva Mineral usando parámetros que sean consistentes con el tamaño de mercado apropiado para ese producto mineral particular (CIM, 2023).
- Número de productores: Muchas rocas y minerales industriales son producidos por solamente un pequeño número de compañías. En estos casos, puede haber barreras significativas de entrada al mercado por parte de un nuevo productor. Estas barreras pueden incluir conocimiento privado (confidencial) sobre procesamiento y/o equipos, conocimiento de aplicaciones de uso final del mineral, relaciones contractuales de largo plazo entre productores/clientes, o consumo cautivo.

Cuando se prepare una estimación ya sea de Recurso Mineral o de Reserva Mineral en tales circunstancias, el profesional debe llevar a cabo suficientes investigaciones para tener certeza de que puede desarrollarse un mercado identificable, que el producto pretendido puede ser vendido, y que hay una expectativa razonable de que el depósito mineral pueda ser llevado hasta producción comercial (CIM, 2023).

En la

Tabla 5, se muestran los diferentes sectores en los cuales los minerales industriales tienen aplicación.



Tabla 5. Sectores donde se requieren las rocas y minerales industriales.

INDUSTRIAS CONSUMIDORAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Industria química</li> <li>○ Alimentación</li> <li>○ Productos de limpieza (Jabones - detergentes)</li> <li>○ Farmacéutica</li> <li>○ Cosmética</li> <li>○ Siderúrgica                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fundición</li> </ul> </li> <li>○ Metalurgia                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Electrónica - Tecnología.</li> <li>- Industria eléctrica</li> </ul> </li> <li>○ Pinturas, recubrimientos, absorbentes y filtros</li> <li>○ Papel</li> <li>○ Productos de arcilla</li> <li>○ Industria del vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cerámicos y refractarios</li> <li>○ Agricultura (Abonos, Fertilizantes, Reguladores PH)</li> <li>○ Construcción y vías                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mampostería</li> <li>- Fachadas y Ornamentación (Bloques de roca, pizarras)</li> <li>- Revestimiento de canales</li> <li>- Construcción de carreteras</li> <li>- Pavimentación</li> </ul> </li> <li>○ Industria del cemento</li> <li>○ Yeso y Placas de yeso</li> <li>○ Plásticos y Cauchos</li> <li>○ Abrasivos</li> <li>○ Perforación de pozos de petróleo</li> </ul>

Fuente: Los Autores

- **Disponibilidad de productos sustituto:** Muchas aplicaciones para rocas y minerales industriales pueden satisfacerse con varios minerales competidores que ofrecen propiedades funcionales o químicas similares, y con frecuencia a costos similares. El profesional debe entonces tener presente el potencial de sustitución de producto cuando establezca el nivel anticipado de demanda de mercado y/o de precio de mercado para el mineral bajo consideración.

En este punto se recomienda realizar una vigilancia en los avances tecnológicos con el fin de monitorear las nuevas prácticas y los materiales sustitutos que puedan poner en riesgo el mercado del mineral industrial bajo consideración.

- **Valor de las ventas:** Las consideraciones del valor de las ventas no solo incluyen una evaluación del precio al cual el producto puede ser vendido, sino que también reconocen que los mercados para muchas rocas y minerales industriales son relativamente pequeños, pueden tener un alto grado de concentración de productores, pueden estar sujetos a sustitución por minerales competidores, o pueden tener altas barreras técnicas de entrada debido ya sea a especificaciones de producto o a conocimiento de las aplicaciones. Estos factores, tanto individualmente como combinados, pueden imponer límites o restricciones sobre los volúmenes de mercado alcanzables y, por tanto, pueden influir en la declaración de si puede justificarse un Recurso Mineral o una Reserva Mineral (CIM, 2023)

- **Calidad / Especificaciones del cliente:** El concepto de calidad en las rocas y minerales industriales es amplio y variable, y depende del producto final, de las necesidades del cliente y de las características del depósito.

Si para la comercialización del mineral la calidad es un factor determinante, esta se convertirá en un aspecto fundamental en la preparación de estimaciones de reservas minerales, diseños de minas y planeamiento minero. Los parámetros de calidad, los cuales pueden ser, entre otros, composición química, pureza, tamaño de partículas, dureza, color, propiedades físicas, propiedades de desempeño; deben indicarse claramente, sin ambigüedades y deben ser de fácil comprensión. Los datos de calidad deben ir acompañados de los valores límites o rangos que se manejen para dichas propiedades.



La calidad del depósito podrá diferenciar entre mineral y estéril para un conjunto determinado de condiciones de producción, uso, parámetros y duración del proyecto. (Fotografía 10).

*Fotografía 10. Clasificación Granulométrica*



*Fuente: Cortesía Industrial Conconcreto S.A.S.*

- Pruebas y requisitos de aceptación: Deben tenerse bien definidos los requerimientos que el mercado, o clientes potenciales específicos, demandan en el mineral industrial bajo consideración, tanto el rango de variación en las propiedades como los límites de aceptación.

A continuación, algunos ejemplos: Minerales que dentro de sus especificaciones requieran composición química, se debe definir claramente el rango que acepta el cliente potencial y con base en esto evaluar el depósito y definir si se encuentra dentro de las especificaciones o si es necesario realizar mezclas para obtener un producto que satisfaga las especificaciones.

En productos minerales donde el color es determinante, es posible que no sea factible realizar mezclas y que deba realizarse una explotación selectiva y clasificación del mineral, en cuyo caso la estimación de reservas estará limitada a las porciones realmente útiles dentro del yacimiento. Sin embargo, la explotación selectiva puede generar producto que no cumpla especificaciones de color pero que sea aplicable a otros mercados, pudiendo disminuirse así el estéril en la mina.



### Recomendaciones

- Determinar las condiciones que permitan al proyecto competir en el mercado, de acuerdo con el o los productos ofrecidos, de manera que los precios de venta soporten los costos asociados a la producción, y conduzcan a que el proyecto sea económicamente viable.
- Para los proyectos que actualmente están en operación se recomienda monitorear el comportamiento de los clientes que se mantienen y la llegada de nuevos clientes, inclusive de nichos de mercados interesados, así como evidenciar qué acciones de divulgación están generando más visitas y compras del producto.
- Se sugiere conocer y documentar la calidad y características requeridas por el mercado, y al mismo tiempo considerar procesos de beneficio y transformación que puedan darle valor agregado al producto terminado.
- La calidad en rocas y minerales industriales es un factor determinante en la estimación de las reservas y en el cumplimiento de las especificaciones de los clientes, por lo cual es indispensable establecer con el profesional líder las pruebas o análisis requeridos para satisfacer la necesidad de los clientes.
- Para las diferentes pruebas de laboratorio es recomendable validar los estándares y técnicas de medición que se manejan en los diferentes laboratorios para garantizar la trazabilidad y la correlación entre la información.

#### 5.1.2. Factor Modificador Ambiental

La actividad minera debe ir acompañada de buenas prácticas ambientales, planes de manejo y acciones sujetas a la legislación vigentes, para que haya una sincronización entre la planificación de la extracción del mineral y las medidas de manejo para prevenir el deterioro de los ecosistemas en el área de influencia.

Para estimación de reservas es importante considerar la zonificación y/o superposición de los diferentes componentes ambientales que influyen en el área de estudio. Los cuales pueden ser retiros de cauces o nacimientos de agua, zonas de protección forestal, zonas arqueológicas, áreas de protección, etc.

La estimación de reservas también debe contemplar si existe una viabilidad ambiental otorgada por la autoridad competente; en caso de que no exista, la máxima categorización a la que se puede llegar es a reservas probables.

Además, dentro de los factores ambientales se debe considerar el cierre de mina, lo que incluye las actividades a realizar desde periodos iniciales y los costos que involucra dentro de la operación y en el post-cierre. (Fotografía 11).



*Fotografía 11 Área recuperada, etapa de Cierre y abandono.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

Dentro del análisis se deben identificar todas las limitaciones medioambientales conocidas o descubiertas a raíz de estos estudios que puedan afectar al desarrollo de la mina o a los requisitos de autorización.

### **Recomendaciones**

- De acuerdo con el proyecto minero se deben analizar y solicitar todos los permisos y/o autorizaciones que se requieran para adelantar las actividades mineras
- Dada la sensibilidad y alta importancia del tema ambiental dentro del negocio minero, es relevante que, si es del caso, el titular minero reporte ante la autoridad ambiental la existencia de predio o predios que se encuentren dentro del título minero que no sean de propiedad del proyecto minero, aún más reportar las acciones ambientales de afectación ajenas a las actividades que se realicen en el marco del título minero, eventualmente realizados por los propietarios de tales predios. Para ello, es recomendable, en lo posible, identificar las actividades en esos predios.

### **5.1.3. Factor Modificador Infraestructura**

La determinación de la infraestructura requerida para el proyecto minero es fundamental para la estimación de las reservas, pero también para la estructuración del planeamiento minero. La selección, la ubicación y el diseño de la infraestructura necesaria para el desarrollo minero está ligada a los estudios topográficos, geomorfología, a la disposición del yacimiento, al método de explotación, la capacidad portante de los suelos, la propiedad de los predios o terrenos, y demás aspectos que se consideren importantes dentro del análisis.

En relación con la construcción y los montajes mineros, se deben contemplar las labores actuales y las proyectadas, entre las cuales se resaltan, vías, obras civiles (talleres, oficinas, campamentos, cuartos de máquinas, viveros, zonas de almacenamientos de residuos, zona de combustibles, etc.), redes eléctricas, redes de aire comprimido, conducción y control de aguas, botaderos, polvorines, instalaciones auxiliares, entre otros.

Entre las obras de soporte minero se encuentran, talleres, bodegas, oficinas, viviendas, sistema de distribución eléctrica, sistema de comunicación, fuentes de suministro, tratamiento y distribución de agua potable, disposición y tratamiento de aguas servidas y basuras, drenaje y evacuación de aguas lluvias, sistema de depósito y distribución de combustibles. (Fotografía 12)



*Fotografía 12. Centro de homogenización.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

Infraestructura de transporte. Es importante describir cual será el medio de transporte que se utiliza o utilizará para llevar el producto a su destino final; y si se requiere hacer inversiones adicionales. Además, los costos de transporte deben ser calculados e incluidos dentro de los costos y análisis financieros.

Además de la infraestructura requerida para la ejecución del proyecto es necesario tener en cuenta las estructuras que se encuentren dentro del área de interés, y que son de interés público dentro de las cuales puede estar: vías, torres y líneas eléctricas, acueductos, plantas de tratamiento, entre otras.

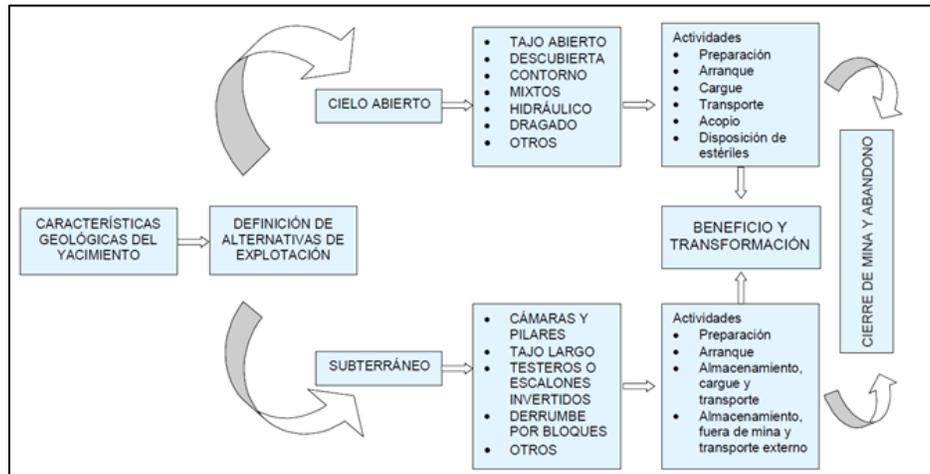
### **Recomendaciones**

- Se deben determinar los retiros que estén establecidos por ley, ya que estos limitaran las zonas de explotación. En caso de que la infraestructura existente se pueda trasladar, es necesario evaluar la viabilidad técnica y económica de realizar esas modificaciones y acordarlas o solicitar los permisos con la autoridad competente y/o la comunidad que se beneficia de esa infraestructura.
- Es importante contemplar los costos de mantenimientos de las vías tanto internas como externas dentro de los análisis económicos, ya que afecta directamente los vehículos de transporte incrementando su mantenimiento y pone en riesgo el suministro de mineral.

#### **5.1.4. Factores Modificadores Técnico – Mineros**

Los factores técnico-mineros tienen un gran impacto en la conversión de recursos a reservas, ya que incluyen todas aquellas variables enfocadas a garantizar el diseño de explotación y los rendimientos en el proceso de extracción a través del método de explotación más adecuado, altos estándares de seguridad en las labores, la recuperación eficiente en el proceso de beneficio y tratamiento adecuado, así como el tratamiento de los limitantes de orden técnico que puedan presentarse y afectar el área a explotar (Figura 4).

Figura 4. Diagrama de actividades mineras



Fuente: Guía Minero Ambiental 2, Explotación, 2002.

#### 5.1.4.1. Delimitación del área de explotación:

La delimitación del área de explotación es importante para la estimación de las reservas, la cual está relacionada con las características del yacimiento, el área de la propiedad minera, la ubicación y categorización de los Recursos minerales, el análisis de superposiciones con zonas de exclusión o restricción minera, restricciones ambientales (ríos, nacimientos, zonas de protección forestal, entre otros), infraestructura (vías, líneas eléctricas, escuelas, represas, aeropuertos, oleoductos, entre otros).

El análisis de los factores modificadores influirá en la delimitación del área donde se puede realizar la explotación minera.

#### 5.1.4.2. Método de extracción:

De acuerdo con el tipo de yacimiento y las características asociadas a este, se puede seleccionar el método de explotación aplicable, para lo cual se debe tener en cuenta el estudio topográfico, calidades de las rocas y minerales, características geomecánicas del macizo rocoso, maquinaria a utilizar, y demás aspectos que se determinen en concordancia con las particularidades del área otorgada.

La selección del método de explotación comprende un análisis detallado de las ventajas y desventajas de posibles métodos aplicables, que se determinan teniendo en cuenta las características del yacimiento y demás aspectos relacionados con la minería. El análisis se realiza con el fin de seleccionar un método de explotación basado en una comparación en la cual se han contemplado aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales, de seguridad, entre otros.

La ubicación, el tamaño, la forma, la orientación (buzamiento) y las propiedades físicas de un yacimiento mineral suelen determinar la selección del método de extracción adecuado. En términos generales, los yacimientos situados en la superficie o cerca de ella suelen considerarse candidatos para el uso de métodos de minería a cielo abierto. Los yacimientos situados a mayor profundidad suelen considerarse candidatos a la aplicación de métodos de minería subterránea. Dependiendo del yacimiento puede ser necesario más de un método de extracción. Una situación típica incluye el uso inicial de métodos a cielo abierto seguidos de métodos subterráneos para las partes más profundas de un yacimiento. En una mina subterránea pueden utilizarse varios métodos de explotación para adaptarse a las variaciones de la mineralización.



En el caso de una ampliación de una explotación minera o de transformación existente, se dispone de datos sobre los costos de explotación y la producción que ayudan a seleccionar los parámetros para la preparación de una estimación de las reservas minerales. Pueden ser necesarios algunos cambios en las estimaciones de los costos de producción si hay que modificar la explotación minera o el sistema de procesamiento o cambiar la producción. Las inversiones para cualquier cambio tendrán que incorporarse al análisis de rentabilidad. En el caso de yacimientos nuevos, las inversiones y los costos de producción suelen estimarse a partir de los rendimientos esperados o pueden derivarse de información de referencia de operaciones similares.

En los casos en que pueda ser necesaria una combinación de métodos a cielo abierto y subterráneos, se calcularán los parámetros de calidad correspondientes a cada método de extracción.

Los profesionales también deben asegurarse de que el equipo de extracción seleccionado es el adecuado para el método de extracción y la tasa de producción previstos. Una selección inadecuada del equipo puede influir negativamente tanto en los factores de dilución como en los de extracción. Los profesionales deben tener un alto nivel de confianza en la viabilidad de los métodos de extracción y procesamiento considerados en la determinación de las reservas minerales.

#### A) Métodos de minería a cielo abierto

De acuerdo con las condiciones que se vayan presentando en el desarrollo del proyecto pueden ser necesario la combinación de métodos de explotación para garantizar la continuidad del proceso y la seguridad de los empleados y equipos. (

Fotografía 13)

*Fotografía 13. Explotación a cielo abierto de Rocas y Minerales Industriales.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*



La selección de los métodos de explotación a cielo abierto implica un análisis detallado que involucra, entre otros:

- Características del yacimiento
- Geotecnia
- Hidrogeología
- Hidrología
- Geomorfología del área estudiada
- Cercanía del yacimiento a la superficie del terreno
- Calidad de los minerales y su distribución
- Características de la roca caja
- Dimensionamiento geométrico del posible método de explotación
- Parámetros de calidad
- Relación de descapote
- Condiciones de seguridad minera
- Impactos ambientales
- Aspectos sociales en el área de influencia del proyecto.
- Perspectiva de producción de minerales
- Inversiones iniciales requeridas

Algunos de los métodos de minería a cielo abierto utilizados en minerales industriales son:

*a. Minería de cantera*

Se define como cantera al termino genérico que se utiliza para referirse a la explotación de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción.

Constituyen el sector más importante en cuanto a volumen, ya que desde tiempos muy antiguos se han venido explotando para la extracción y abastecimiento de materias primas con uso final en la construcción, materias primas para la industria y obras de infraestructura.

En líneas generales, el método de explotación aplicado suele ser el banqueo con uno o varios niveles. (Fotografía 14)



*Fotografía 14. Explotación por método de minería de cantera*



*Fuente: Cortesía Cantera La Borrascosa, Industrial Conconcreto S.A.S.*

Las canteras pueden subdividirse en dos grupos.

- Donde se desea obtener una explotación general de la roca para alimentar las plantas de procesamiento y obtener un producto destinado para la industria de la construcción, la fabricación de cementos, productos industriales entre otros.
- La otra explotación se realiza en grandes bloques con cortes de maquinaria especial y selectiva a partir de cortes limpios para la industria ornamental.

***b. Minería por tajo abierto (Open-Pit Mining):***

Este es el método de explotación a cielo abierto más común. Implica la excavación de un tajo en forma de cono invertido desde la superficie para acceder al yacimiento mineral. A medida que se profundiza el tajo, se retira el material estéril y se extrae el mineral deseado.

Los materiales estériles pueden ser dispuestos en la parte externa o interna del tajo.

Estas explotaciones pueden realizarse de manera longitudinal, transversal o mixta.

Características:

- Extracción del estéril con voladura o medios mecánicos
- Conjunto de capas con espesores variables.



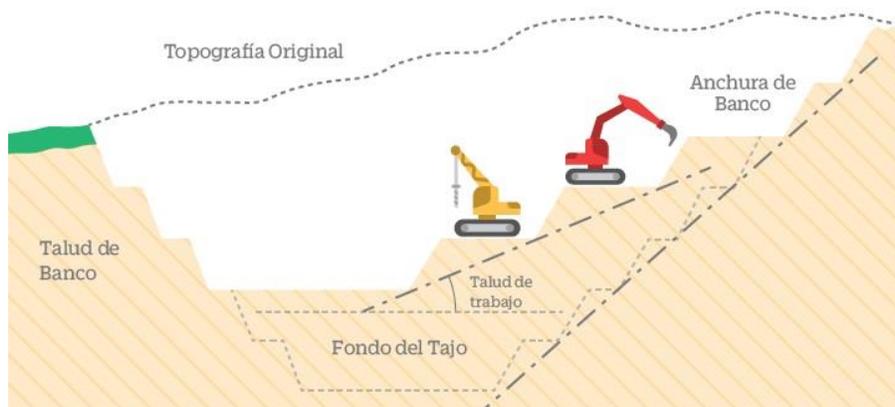
- Parámetros de calidad
- Minerales marginales
- Capas con inclinaciones superiores a 20°
- Capacidad portante de la roca.

Principalmente aplicable a:

- Materiales de construcción
- Minerales Industriales
- Rocas Ornamentales

En la Figura 5 se muestra esquemáticamente una operación a cielo abierto.

*Figura 5 Explotación por open pit mining.*



*Fuente: Cartilla 2, Aspectos técnicos de la formalización, 2016.*

### **c. Minería de contorno**

Consiste en excavar una trinchera abierta a lo largo de toda la longitud del afloramiento. El estéril removido se deposita sobre la ladera. Para el movimiento del estéril se emplea bulldozer con ripper, el cual empuja directamente este material. En algunas ocasiones se fragmenta el material con explosivos. Los equipos más frecuentemente empleados son:

- Palas hidráulicas
- Retroexcavadoras
- Bulldozer
- Camiones
- Cargador



Características:

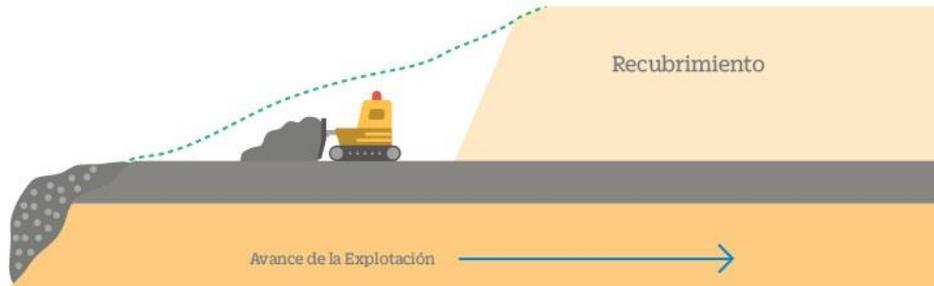
- Económico y sencillo en pequeños yacimientos
- Requiere poco tiempo de preparación y poco personal

Es aplicable a:

- Calizas
- Rocas fosfóricas
- Materiales de construcción
- Arcillas

En la Figura 6 se muestra esquemáticamente una explotación de minería de contorno.

*Figura 6 Explotación de Minería de Contorno*



*Fuente: Cartilla 2, Aspectos técnicos de la formalización, 2016.*

#### **d. Minería de terrazas con bancos descendentes**

Este método se basa en una minería de banqueo con un avance unidireccional. Se aplica en yacimientos relativamente horizontales, de uno o varios niveles mineralizados y con recubrimientos potentes,

Se pueden alcanzar profundidades importantes donde existe casi exclusivamente una limitante de costos.

### **B) Métodos de minería subterránea**

Los parámetros importantes en la selección de los métodos de minería subterránea pueden incluir:

- Tipo de yacimiento
- Ancho, altura y longitud mínimas requeridas para las operaciones mineras,
- Tamaño y ubicación de los pilares,
- Consideraciones geológicas/estructurales,
- Consideraciones geotécnicas y geomecánicas.
- Tipo de sostenimiento,
- Selección de equipos,
- Ventilación y calidad del aire,
- Consideraciones sobre la secuenciamiento.
- Consideraciones de seguridad, salud e higiene minera (por ejemplo, exposición al calor).



Los métodos de minería subterránea se clasifican, entre otros aspectos, de acuerdo con el soporte del techo. Este depende de las propiedades mecánicas de las rocas y de las características espaciales, tanto de la sustancia mineral como de la roca encajante.

Los métodos utilizados en minería subterránea de manera general se clasifican en tres grandes grupos:

#### Método Auto Portante

Este método no requiere de soporte artificial, pero no excluye la utilización, para algunos casos de pernos de anclaje en el techo.

- Método de cámaras y pilares.
- Método de pozos o macizos largos
- Método de pozos tolva
- Método con Soporte

Método en el cual los túneles de extracción requieren soporte, y el techo sufre subsidencia gradual o desprendimiento después de la explotación.

- Método de cámaras con relleno
- Método de cámaras y pilares
- Método de tajo corto
- Método de tajos en diagonal
- Método de testeros o escalones invertidos
- Método de Derrumbe por Bloques

Método que depende de las propiedades mecánicas y espaciales de la roca. El depósito es inducido a derrumbarse bajo la acción de la gravedad.

- Método por hundimiento de bloques
- Método de hundimiento por subniveles
- Método de tajo largo con derrumbe dirigido

De acuerdo con las condiciones que se vayan presentando en el desarrollo del proyecto pueden ser necesario la combinación de métodos de explotación o sistemas de sostenimiento para garantizar la continuidad del proceso y la seguridad de los empleados y equipos.

A continuación, se hace una breve descripción de los Métodos de Minería Subterránea con mayor aplicación en minerales industriales, sin embargo, dependiendo de las características del depósito, las condiciones geomecánicas y el precio del mineral se pueden aplicar otros métodos de explotación.

#### *a. Cámaras y Pilares*

En la extracción se dejan pilares del mineral para sostener el techo. Las cámaras se construyen en forma múltiple y paralela. Se hacen tan anchas como las características y propiedades de resistencia de las rocas de techo y



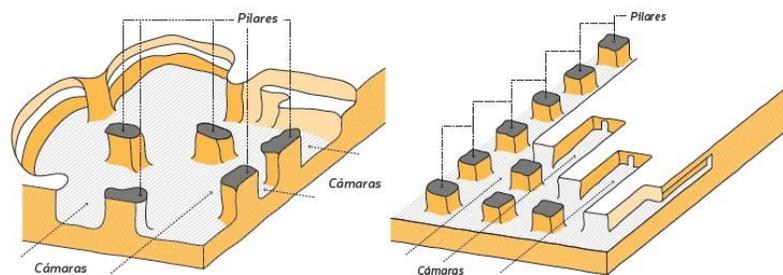
piso y del mismo mineral lo permitan. Dentro de las cámaras se realizan las operaciones de cargue, transporte, etc. La operación se realiza de tal manera que el techo de la cámara se mantiene en su sitio, sin necesidad de sostenimiento artificial durante el tiempo que dura la explotación. Los pilares que quedan entre las distintas cámaras se pueden recuperar o abandonar dependiendo de las características del depósito y comportamiento del macizo rocoso.

Características:

- Las cámaras se ordenan sistemáticamente en filas, de tal modo que sean accesibles desde una galería que las atraviesa.
- Las dimensiones de las cámaras depende de la resistencia de la roca mineralizada.
- El porcentaje de mineral recuperado es variable.
- El porcentaje de recuperación se incrementa significativamente cuando en retirada se recuperan los pilares.
- Este sistema requiere de una ventilación apropiada.
- Se emplea en yacimientos con buzamientos menores a 30°.

En la Figura 7 se muestra esquemáticamente una explotación de cámaras y pilares

*Figura 7. Explotación por cámaras y pilares.*



*Fuente: Cartilla 2, Aspectos técnicos de la formalización, 2016.*

#### **b. Derrumbe por bloques**

Se emplea para el extraer capas de roca o mineral en un patrón de hundimiento controlado; cuando la gravedad y la presión de los terrenos situados en el techo obligan al derrumbe; A medida que se extrae el mineral, el techo de la mina se derrumba gradualmente, creando una superficie hundida. En este método se dispone de un juego completo de tolvas de descarga desde donde se transporta el mineral hacia la galería principal. Este método se utiliza en la explotación de yeso, entre otros.

Características:

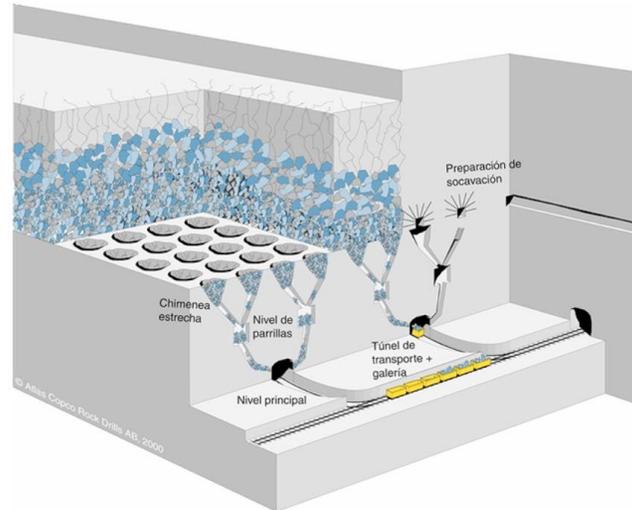
- Buzamientos mayores a 50°
- Espesores entre 0.5 y 3 m.

En la



Figura 8 se muestra esquemáticamente una explotación de derrumbe por bloques.

*Figura 8 Explotación derrumbe por bloques.*



*Fuente: Riesgo en la minería subterránea, 2002.*

Los parámetros de diseño deben contar con los soportes correspondientes, entre los que pueden estar: análisis de laboratorio, cálculos correspondientes, etc, así como los planos y/o diagramas representativos de los diseños previstos para demostrar claramente la metodología utilizada y la conformidad del diseño con la forma del yacimiento.

El análisis técnico de las propiedades de la roca (mecánica de rocas) debe revisarse y reconocerse durante el proceso de diseño de la mina.

#### **5.1.4.3. Seguridad en labores mineras:**

Todos los diseños y actividades planeados en el desarrollo del proyecto minero, ya sea superficie o subterráneo, deben considerar la seguridad de las labores mineras y el cumplimiento de las normas vigentes y que apliquen a cada caso.

Para cualquier actividad minera es necesario contar con altos estándares de seguridad, para ello es relevante realizar acciones para fortalecer la profesionalización, generación de competencias laborales y capacitación en materia de seguridad minera al talento humano vinculado a la actividad minera.

Dentro de los componentes de capacitación debe existir el contenido e idoneidad específica enfocada en transmitir conocimientos en cuanto a las características geomecánicas de los frentes mineros y su comportamiento respecto de la maquinaria y equipos en funcionamiento u otro medio para las labores de preparación, remoción y arranque. Lo que facilitará el consenso y la construcción de lineamientos con carácter preventivos durante la ejecución de las actividades en los frentes de trabajo y vías de tránsito, así como las acciones a realizar en la eventual ocurrencia de incidentes y accidentes, como, por ejemplo: caídas de roca, derrumbes u otros.

#### **5.1.5. Dilución**

La dilución es el material que se encuentra por debajo de los límites de calidad establecida o por fuera de la litología de interés, pero que se extrae intencionada o inadvertidamente, y debe tenerse en cuenta en las



estimaciones de las reservas minerales porque "diluye" la calidad y aumenta el volumen extraído. Los profesionales deben describir cómo se aplicaron las estimaciones de dilución en la preparación de la estimación de las reservas minerales (CIM, 2019).

#### 5.1.5.1. *Dilución a cielo abierto*

En las minas a cielo abierto, se establece un contorno minero donde se va a realizar la extracción. En algunos casos, el contorno minero incluye material que está por debajo del valor mínimo de la calidad o la litología de interés porque este material no puede extraerse selectivamente durante la operación de excavación. Este material se denomina dilución interna.

Cuando se preparan estimaciones de Reserva Mineral también debe considerarse la **dilución externa** o **dilución planeada**. Este tipo de dilución resulta de la extracción de material estéril que se mezcla con que el mineral que cumple especificaciones de calidad a lo largo del perímetro de las áreas explotadas en el momento de la excavación. Un estimativo de este tipo de material también debe ser incluido en las estimaciones de tonelaje y calidad de la Reserva Mineral.

La **dilución no-planeada** típicamente tiene lugar como resultado del movimiento de material dentro del contorno de minería debido a las voladuras.

#### 5.1.5.2. *Dilución en minería subterránea*

En las minas subterráneas, al igual que en las explotaciones a cielo abierto, se dan situaciones en las que parte del material que se encuentra por fuera de los parámetros de calidad debe extraerse porque no puede excluirse selectivamente al interior de la mina. Este material de baja calidad también suele denominarse **dilución interna**.

En la fase de diseño de la mina, en muchos casos las formas de la excavación planificada no pueden coincidir con los contornos mineralizados. Las áreas fuera del contorno mineralizado, pero dentro del diseño planificado, suelen denominarse **dilución planeada** y deben excavarse por razones técnicas y operativas.

Además de la dilución planeada mencionada anteriormente, la dilución puede ser el resultado de material adicional que se extrae como resultado de razones no controladas, no planificadas o imprevistas. Este material suele denominarse **sobreexcavación**, **dilución imprevista** o **dilución externa**.

### 5.1.6. **Pérdidas o Recuperación Mineras**

Las pérdidas mineras se refieren al porcentaje de mineral que cumple con especificaciones de calidad y que se encuentra dentro de los diseños de la mina, pero que no se extraerá por diversas razones. Estos materiales se expresan a veces en términos de recuperación minera (CIM, 2019).

Ejemplos de pérdidas mineras son el material fino, pequeños fragmentos o ripio y que no puede recuperarse debido a limitaciones operativas o de seguridad en una mina subterránea, el material que se deja en el lugar con fines geotécnicos (por ejemplo, pilares) o el material volado en una mina a cielo abierto que está destinado a enviarse a la planta de procesamiento pero que no puede recuperarse.

Las pérdidas mineras deben cuantificarse y tenerse en cuenta en la elaboración de una declaración de Reservas Minerales.

### 5.1.7. **Necesidades de Mano de Obra y Equipos**

Las estimaciones de la mano de obra de la mina y de las necesidades de maquinaria son necesarias para respaldar las estimaciones de gestión de recursos humanos, costos de explotación, necesidades de inversiones y necesidades de capital de trabajo.



#### A) *Mano de obra*

La estimación de las necesidades de mano de obra incluye una estimación detallada del número de personas necesarias para cada puesto en un lugar determinado. Esta información es necesaria para el cálculo de la nómina y las prestaciones sociales correspondientes, y estas estimaciones se pueden preparar con carácter mensual, trimestral y anual, según proceda.

Para los costos de explotación es necesario incluir la estimación de los costos asociados a la nómina durante la vida útil del proyecto.

En caso de que la explotación recurra a un contratista para la totalidad o una parte de sus operaciones mineras o de apoyo, deberá incluirse en los costos de explotación y especificar las necesidades de mano de obra de los contratistas para llevar a cabo los trabajos previstos.

#### B) *Equipos y maquinaria*

La estimación de las necesidades de equipos incluye una estimación detallada del número de unidades necesarias para cada tipo de trabajo en una mina determinada. El número de unidades necesarias se calcula para cada equipo de la flota móvil, los equipos de larga duración y los equipos auxiliares, como ventiladores y bombas, para toda la vida útil de la mina. Las necesidades de equipos se preparan sobre una base mensual, trimestral y anual, según proceda.

Los planes de vida útil de la mina deben incluir una estimación de los equipos totales previstos para la vida útil de la mina, al igual que para cada una de las fases de diseño detallado de la mina.

Cuando la explotación recurra a un contratista para la totalidad o parte de sus operaciones mineras o de apoyo, deberá incluirse en los costos de explotación un componente de costo específico para contabilizar el equipo del contratista necesario para realizar los trabajos previstos. De acuerdo con el tipo de contratación se deben incluir en los costos los valores por insumos que el contratista no asuma (combustibles, piezas de consumo).

#### a. **Minas a cielo abierto**

La selección del tipo, modelo específico, tamaño y número de piezas de equipo adecuados para una determinada fase de diseño de una mina a cielo abierto requerirá la consideración de una serie de parámetros y factores que se indican a continuación:

##### **Perforación y voladura:**

- Altura del banco,
- Índice de penetración,
- Propiedades físicas del mineral/estéril
- Diámetro del barreno, profundidad, ángulo, carga y espaciado,
- Sub-taladro,
- Tipo de explosivo, y
- Finalidad (mineral, estéril).

##### **Cargue:**

- Tipo de material y características físicas,
- Tasa de producción,



- Altura del banco, y
- Requisitos de selectividad (dilución).

*Fotografía 15. operación de cargue*



*Fuente: Cortesía Industrial Conconcreto S.A.S.*

#### **Transporte:**

- Tasa de producción,
- Distancia de transporte,
- Densidad del material,
- Contenido de humedad,
- Perfil de transporte, y
- Trituración en la propia mina.

#### **Equipos auxiliares:**

- Equipo de supervisión,
- Iluminación,
- Comunicación,
- Topografía
- Manejo de aguas.



- Manipulación del almacenamiento de roca estéril
- Trituradora/rompedora de roca,
- Mantenimiento de carreteras,
- Mantenimiento de equipos de campo,
- Combustible y lubricación, y

### **b. Minas subterráneas**

La selección del tipo, modelo específico, tamaño y número de equipos adecuados para el diseño de una mina subterránea se rige principalmente por el método de extracción, los medios de acceso y las tasas de extracción requeridas. Aunque existe un gran número de combinaciones posibles para cualquier yacimiento, en general, las principales áreas de consideración incluyen:

#### **Perforación y voladura:**

- Producción o desarrollo (desarrollo de niveles, rampas, pozos, pasos de mineral/estériles),
- Diámetro del barrenado e índices de penetración, diseño, carga
- Propiedades físicas del mineral/estériles, y
- Tamaño de la sección minera

*Fotografía 16. Operación de perforación*



*Fuente: Cortesía Fosfatos del Huila S.A.*

#### **Transporte:**

- Transporte a nivel,



- Densidad del material,
- Contenido de humedad,
- Transporte en rampa, y
- Transporte entre niveles.

*Fotografía 17. Operación de transporte*



*Fuente: Cortesía Fosfatos del Huila S.A.*

**Equipos auxiliares:**

- Equipo de supervisión,
- Comunicación,



- Topografía,
- Sistema de bombeo,
- Transportes de suministro,
- Mantenimiento de vías de transporte,
- Mantenimiento de los equipos,
- Combustible y lubricación,
- Manejo de aguas,
- Apoyo en tierra,
- Trituradora,
- Sistema de ventilación,
- Relleno,
- Construcción, y
- Logística y abastecimiento.

En el caso de las explotaciones en producción y ampliaciones, la estimación de las necesidades de mano de obra, maquinaria y equipos puede determinarse utilizando los rendimientos de las explotaciones actuales. En el caso de los proyectos en fase de estudio, la mejor forma de determinar las necesidades de mano de obra, maquinaria y equipo es a partir de los rendimientos esperados. La información sobre productividad de explotaciones comparables puede ser de gran ayuda.

### **Recomendaciones**

- Dentro del diseño minero debe incluir y justificar los parámetros utilizados.
- Dependiendo de las condiciones del depósito es importante determinar la dilución, pérdidas o recuperación minera y la relación de descapote.
- Dentro del diseño minero se debe considerar todos los factores modificadores que apliquen.
- A partir del diseño minero se reportan los volúmenes de mineral económicamente explotable y estéril.

#### **5.1.8. Factores Modificadores Geotécnicos, Hidrogeológicos e Hidrológicos**

Los datos geotécnicos e hidrogeológicos son un aporte importante al diseño de ingeniería de las minas de superficie y subterráneas. La calidad del suelo y de la roca puede tener un efecto significativo en el diseño de las minas de superficie y subterráneas, así como en la ubicación y las decisiones de localización de la infraestructura requerida en el proyecto, dentro de las cuales están las plantas de procesamiento, ingresos a mina, y las zonas de almacenamiento de material estéril entre otros. Las condiciones geotécnicas y de las aguas subterráneas tienen una gran influencia en el diseño de la mina y las infraestructuras relacionadas, y son necesarias investigaciones específicas para establecer los parámetros de diseño adecuados para cada aplicación (Whitham, 2014). También deben tenerse en cuenta la actividad sísmica y otros riesgos naturales o condiciones medioambientales de la zona.



### A) Geotecnia

El tipo de desarrollo minero e infraestructura propuestos debe determinar la naturaleza y el alcance de la investigación geotécnica. Los aspectos clave son la escala y la estabilidad requerida de la estructura, y deben tenerse en cuenta los siguientes elementos:

- Geología de la zona,
- Condiciones del lugar,
- Desarrollo minero,
- Instalaciones para el manejo de colas,
- Almacenamiento de material estéril y movimiento de tierras,
- Infraestructuras de superficie, y
- Sismicidad inducida por la minería.

Los datos geotécnicos pueden obtenerse a partir de programas de perforación, excavaciones y/o minería de prueba en los que los objetivos son confirmar la exactitud de los supuestos clave, incluida la geología subyacente, la presencia y el carácter de discontinuidades importantes, la resistencia de la masa rocosa y la hidrogeología.

Con los datos obtenidos y el diseño minero es importante calcular el factor de seguridad de las zonas de explotación, y validar si es necesario realizar algún cambio para garantizar la estabilidad de las labores y por ende la seguridad del personal y equipos.

*Fotografía 18. Labores de sostenimiento*





*Fuente: Cortesía Fosfatos del Huila S.A.*

### B) Geomecánica

Dentro de las consideraciones técnicas de la explotación minera se debe tener un análisis donde se revisen los siguientes aspectos:

- Diagnóstico inicial en el cual es recomendable incluir las características del macizo, mecanismo de falla probable, efecto del agua, condición de esfuerzos, entre otros.
- Propiedades físicas y propiedades mecánicas de la roca.
- Análisis de discontinuidades del macizo rocoso.
- Clasificación geomecánica del macizo (RMR, Q, GSI)

Esto permite definir los parámetros para la estabilidad de la explotación y el tipo de sostenimiento que requiere la mina según aplique.

### C) Hidrogeología e Hidrología

Las investigaciones hidrogeológicas e hidrológicas son necesarias para identificar los acuíferos principales, evaluar el balance hídrico probable y valorar las posibles repercusiones en los taludes de las paredes de la mina a cielo abierto, el diseño en minería subterránea y los índices de producción.

Cuando las aguas subterráneas se consideren un riesgo para la extracción, será necesaria una investigación específica para establecer las características de los dominios hidrogeológicos del emplazamiento y su respuesta a la minería.

En el diseño y la explotación de minas a cielo abierto, deben tenerse en cuenta dos factores principales: la cantidad y la ubicación de las aguas subterráneas dentro de las zonas de explotación, y la influencia de las presiones de las aguas subterráneas en la estabilidad de las paredes del tajo, el suelo del tajo y el depósito de estériles dentro del mina o la zona de almacenamiento de roca estéril.

En el caso de las minas subterráneas, las entradas de agua subterránea durante las operaciones suelen gestionarse mediante el sistema de bombeo de la mina; sin embargo, hay situaciones en las que se requieren infraestructuras y gastos adicionales, especialmente cuando hay acuíferos importantes o unidades de alta permeabilidad cerca de las operaciones.

Tanto para las minas a cielo abierto como para las subterráneas, es importante evaluar la química de las aguas subterráneas y el potencial de generación de ácido de la roca, ya que esto determinará si el agua de la mina se puede utilizar en la planta de proceso o, si se va a verter al medio ambiente, qué tratamiento requerirá.

Los estudios de aguas superficiales incluyen la recopilación de datos sobre precipitaciones y cuencas para predecir inundaciones y definir los requisitos de drenaje de la mina y las infraestructuras, y se utilizan en el análisis del balance hídrico para la ingeniería de procesos y residuos mineros.

Además, dentro del diseño de la mina se deben considerar las márgenes protectoras que se deben dejar de los afluentes y nacimientos de acuerdo con la normatividad vigente.

### Recomendaciones

- En la medida que se aprovechan las reservas minerales estas se pueden ver afectadas con la aplicación de los factores de seguridad que garanticen la integridad del personal y equipos. Así mismo durante la explotación el factor de seguridad puede variar y afectar la continuidad del negocio.
- Es importante verificar con la corporación autónoma regional correspondiente, cuáles son los retiros que aplican en la cuenca.



### 5.1.9. Factor Modificador Procesos de Beneficio y Transformación

El análisis de los aspectos relacionados con este factor es muy importante dentro de la definición de la viabilidad de los proyectos mineros, en el cual interviene la definición de las características físico-químicas y la clasificación de los materiales o minerales. Adicionalmente, se deben analizar los aspectos relacionados con el proceso en sí, entre los cuales se encuentran la reducción de tamaño (trituración, molienda), clasificación, lavado, separación magnética, flotación, separación con medios densos, separación con líquidos pesados, entre otras. El análisis referido conduce a la determinación del proceso de beneficio adecuado para el proyecto minero, para lo cual se debe indicar detalladamente el tipo de proceso, las especificaciones de cada operación que se realiza o se pretende realizar, el método para alimentar la planta, la tecnología utilizada, el producto o los productos obtenidos. (Fotografía 19)

*Fotografía 19. Planta de Procesamiento de Caolín.*



*Fuente: Cortesía Sumicol S.A.S.*

Plasmar los procesos propuestos en los diagramas de flujo, permiten tener un panorama claro de las operaciones y las inversiones relacionadas con estas.

La afinación de la operación en las plantas de beneficio, así como las posibles mezclas que se realicen de acuerdo con las especificaciones de los productos esperados, son aspectos relevantes en el proceso, y van de la mano con las calidades de los minerales determinadas en el yacimiento.

### Recomendaciones

- De acuerdo con el mineral, adoptar las mejores técnicas para su proceso de beneficio donde se deben tener en cuenta los equipos y las operaciones unitarias que apliquen.



#### **5.1.10. Factor Modificador Social**

El análisis de las actividades de índole social que se desarrollan o se plantean para el área de influencia del proyecto se debe realizar atendiendo las perspectivas sobre el desarrollo minero, local, regional y nacional, teniendo en cuenta que se deben identificar los posibles riesgos que se puedan suscitar con el desarrollo del proyecto minero. En este sentido, se deben proponer y planificar actividades para mitigar y atender esos riesgos sociales ligados a la minería, las cuales hacen parte del plan de gestión social empresarial, y se deben analizar con carácter de factor modificador, en concordancia con las características del proyecto, su magnitud y por supuesto considerando siempre los aspectos culturales que definen a las comunidades que hacen presencia o se asientan en el sector estudiado.

Es posible que se presenten situaciones en las cuales algunas comunidades manifiesten abiertamente su desacuerdo con el desarrollo de proyectos mineros en sus territorios. En estos casos, con el fin de destrabar el desarrollo de las actividades en campo se debe analizar y discutir la posibilidad de afectar las reservas excluyendo los trabajos mineros en esas zonas donde se presenten estas dificultades.

Teniendo en cuenta que el análisis busca determinar el impacto que tiene el factor social en la estimación de las reservas, es esencial que se incluyan en este análisis las inversiones correspondientes a las actividades sociales que se proponen en relación con el proyecto minero.

En torno al tema social, es preciso resaltar que los programas de creación de encadenamientos son principalmente resultado de iniciativas de algunas compañías mineras y esto ha sido entendido por las entidades gubernamentales y, aquellas de cooperación internacional. En vista de que el sector minero ha determinado la necesidad de obtener la aceptación social de nuevos proyectos mineros, el poder tener encadenamientos productivos permite disponer de mecanismos que incrementan y fortalecen la competitividad.

Los grupos étnicos en determinadas jurisdicciones pueden requerir acciones específicas como consultas y acuerdos vinculantes.

Cualquier restricción impuesta al diseño de la mina causada por factores sociales, culturales o arqueológicos debe ser identificada. Todas las reuniones o consultas públicas o gubernamentales con las partes interesadas, las audiencias, así como los acuerdos propuestos o reales con las partes interesadas deben tratarse como parte de los estudios que respaldan la estimación de la Reserva Mineral.

#### **Recomendaciones**

- Tener un relacionamiento continuo con las comunidades del área de influencia del proyecto y mantener informada a la población sobre las modificaciones que presente el proyecto.

#### **5.1.11. Factor Modificador Legal**

Como parte del análisis de este factor modificador toma relevancia verificar el estado jurídico, la duración del contrato de concesión y determinar que el proyecto minero cuente con los permisos necesarios para su desarrollo, e incluso con las servidumbres mineras requeridas para acceder, transitar u ocupar predios o terrenos de terceros o personas ajenas al proyecto.

Corresponde también al análisis del factor legal, determinar si en los instrumentos de ordenamiento territorial de los municipios se establecieron aspectos sobre zonas o sectores que puedan coincidir con el área del proyecto minero, teniendo en cuenta que con este se busca establecer si existen o no condiciones que imposibiliten o dificulten el desarrollo de las actividades mineras.

Se deben contemplar dentro del análisis los costos asociados al mecanismo que permita garantizar el buen estado de la propiedad minera, incluidos la revisión de la normatividad, verificación de notificaciones,



elaboración de documentos y cumplimiento de obligaciones o requerimientos ante las diferentes autoridades de control.

### **Recomendaciones**

- Incluir en el análisis de este factor modificador todos los aspectos jurídicos que impacten o puedan impactar al proyecto.

#### **5.1.12. Factor Modificador Escala de Producción y Vida Útil**

La escala de producción va ligada a las expectativas de venta del producto de acuerdo con el estudio de mercado que se realizó, y a la capacidad de producción que se tenga.

Al mismo tiempo permite considerar las inversiones que apalanquen el proyecto y el periodo de tiempo sobre el cual se hace su amortización y depreciación para el caso de los activos fijos.

La vida útil del proyecto está determinada por la vigencia autorizada por la autoridad minera y el agotamiento de reservas.

#### **5.1.13. Factor Modificador Análisis Económico**

Un requisito fundamental para declarar una reserva mineral, tanto si se trata de una explotación minera en curso como de una propiedad minera en fase de estudio, es la demostración de la viabilidad económica (rentabilidad) de la explotación con los parámetros técnicos considerados, Esto se consigue normalmente mediante la preparación de un modelo económico basado en el flujo de caja descontado (FCD) (CIM, 2019).

En la industria minera, los modelos económicos/FCD se utilizan para determinar y validar decisiones empresariales o de inversión como:

- Declaración de Reservas Minerales,
- Decisiones de proceder a inversiones adicionales en una propiedad,
- Decisiones sobre la asignación de capital entre propiedades, y
- Valoraciones de propiedades mineras, proyectos mineros y entidades empresariales.

Los modelos económicos suelen construirse utilizando periodos sucesivos de un año y proporcionan varias métricas de FCD, como el Valor Presente Neto (VPN), la tasa interna de rentabilidad (TIR) y el periodo de recuperación. Los modelos económicos deben prepararse tanto antes como después de impuestos.

##### **A) Modelo Económico**

Los elementos esenciales de un modelo económico preparado en apoyo de una declaración de reservas minerales deben incluir, como mínimo, los siguientes elementos (CIM, 2019).

##### **1. Producción**

Los modelos económicos deben incluir programas anuales de producción minera que incluyan toneladas de mineral, calidad del mineral, recuperación del producto, toneladas y calidad de estériles (si aplica), y toneladas y calidad en inventario (si aplica).

También deben incluirse programas anuales de producción de la planta de procesamiento en los modelos económicos allí donde los programas de producción de mina difieren de los programas de producción de la planta de procesamiento.



### 2. Ingresos:

Los principales datos necesarios para calcular los ingresos de un modelo económico son la producción anual proyectada y el precio de venta proyectado.

### 3. Costos de explotación:

La sección de costos de explotación de un modelo económico suele incluir la consideración de los siguientes componentes como partidas independientes (Tabla 6), estos valores se dan por anualidad:

- Costos de explotación minera,
- Costos de beneficio,
- Gastos de funcionamiento generales y administrativos,
- Cánones y compromisos de contratos sociales,
- Demás costos de explotación, según proceda.

Tabla 6. Costos de explotación típicos de las operaciones mineras.

CENTRO DE COSTOS	TIPO DE TRABAJO
<b>Minería</b>	<i>Programas de exploración:</i> Estudios y campañas de exploración que permitan un mejor conocimiento del depósito (si aplica)
	<i>Desarrollo:</i> Costos de desmonte a cielo abierto que no se han contabilizado, y desarrollo subterráneo.
	<i>Producción:</i> Explotaciones a cielo abierto: perforación, voladura, cargue, transporte, manejo de botaderos, mantenimiento de carreteras, manejo de aguas, riego de vías, energía Subterránea: perforación, voladura, cargue, transporte, relleno, desagüe, energía, mantenimiento de nivel, sostenimiento, ventilación.
	<i>Servicios técnicos:</i> Servicios geológicos y de ingeniería. Topografía, laboratorio
<b>Tratamiento</b>	Trituración, molienda, flotación, lixiviación, refinado, secado de productos, comercialización y venta de productos, gestión de residuos, medio ambiente, energía, servicios de ensayo, servicios técnicos, lixiviación en pilas, extracción por disolventes, electrodeposición, etc., según proceda.
<b>General y Administración</b>	Gestión, contabilidad, compras y logística, relaciones humanas (RRHH), seguridad y salud, relaciones con la comunidad, seguros, tecnología de la información (TI) (licencias de software, otros costos de infraestructura, apoyo y mantenimiento), costos de seguridad, costos de campamentos, viajes para emplazamientos remotos, pagos de cánones, consultores externos, arrendamiento de oficinas y equipos, gastos de oficinas satélite. Costos legales y reglamentarios, impuestos sobre la propiedad, mantenimiento de la tenencia minera, y permisos.

Fuente: CIM, 2023.



#### 4. Costos de Capital

En relación con la preparación de una declaración de reservas minerales, dentro del análisis financiero se deben incluir los costos de capital ya sea un proyecto nuevo o uno en ejecución. Estos costos incluyen:

##### a. Costos directos:

Los costos directos suelen comprender estimaciones de costos basadas en cantidades que abarcan todos los equipos permanentes, materiales a granel, mano de obra y subcontratistas asociados a la construcción física del proyecto. En general, incluyen las siguientes áreas funcionales principales:

- **Minería**
  - Desarrollo minero
    - Desarrollo subterráneo (por ejemplo, vías de transporte, pozos de producción, ventilación, bombeo y necesidades eléctricas)
    - Desarrollo de minas a cielo abierto (por ejemplo, desmonte, almacenamiento de roca estéril, acopios de mineral)
  - Flota minera
- Instalaciones de procesamiento (desde la recepción del mineral hasta el transporte del producto y la disposición de estériles)
- Instalación de gestión de residuos (suele definirse como aquella que comienza en la planta de procesamiento y se extiende hasta la zona de almacenamiento de estériles y residuos, incluidas las instalaciones de tratamiento de aguas efluentes).
- Infraestructura
  - Instalaciones in situ como campamentos, talleres de mantenimiento, edificios administrativos, laboratorios analíticos y metalúrgicos, estructuras de suministro y gestión del agua, etc,
  - Instalaciones fuera del emplazamiento, como carreteras de acceso, pistas de aterrizaje, instalaciones portuarias o ferroviarias, líneas eléctricas o instalaciones de generación de energía, conducciones de concentrados, plantas desalinizadoras y conducciones de agua, etc.

##### b. Costos indirectos:

Los costos indirectos suelen definirse como costos que no pueden atribuirse directamente a la construcción de las instalaciones físicas, pero que son necesarios para apoyar el esfuerzo de construcción. Estos costos pueden incluir los siguientes:

- Costos de construcción (campamento de construcción, instalaciones temporales, servicios de apoyo)
- Costos y honorarios de ingeniería, contratación y construcción /gestión de ingeniería, contratación y construcción
- Costos de puesta en servicio y puesta en marcha (incluidos los ingenieros de puesta en servicio y el personal del proveedor)
- Insumos iniciales y repuestos críticos

##### c. Contingencia

Los imprevistos son una estimación de los costos desconocidos que es probable que se produzcan pero que no son fácilmente identificables. La inclusión de imprevistos es esencial para garantizar que la estimación de los costos de capital sea adecuada para completar el proyecto.



#### **d. Capital de trabajo**

Es un término utilizado para describir el inventario y el efectivo necesarios durante la fase inicial para apoyar la operación hasta cuando se reciban ingresos.

#### **e. Impuestos, cánones y flujos**

En un modelo económico debe incluirse, como partidas separadas, un calendario anual de todos los impuestos y cánones significativos (ya se basen en ingresos, rentas, tonelaje, tiempo u otras características). Pueden incluir, entre otros, cánones no gubernamentales, pagos de acuerdos de impacto y beneficios, impuestos sobre la renta, impuestos sobre el capital, retenciones fiscales y gravámenes especiales de organismos gubernamentales.

#### **f. Flujo de caja**

Es un concepto fundamental en las finanzas y se refiere al movimiento de dinero que entra y sale de una empresa, proyecto o entidad durante un período de tiempo específico. El flujo de caja representa la liquidez de una entidad y es esencial para evaluar su salud financiera, su capacidad para cumplir con sus obligaciones y para invertir en futuras oportunidades

Componentes del modelo de flujo de caja

+ Ingresos brutos por cada mineral

+ Otros ingresos

= Ingresos netos

- Costos de explotación

- Cánones y acuerdos no gubernamentales, regalías.

- Ajustes del capital trabajo (criterio de caja)

= Flujo de caja operativo:

- Amortizaciones

- Depreciaciones

- Costos de cierre y recuperación

= Flujo de caja antes de impuestos

- Impuestos y cánones públicos (sobre la renta, sobre la minería, etc.)

- Retenciones a cuentas

= Flujo de caja libre después de impuestos

#### **Recomendaciones**

- En proyectos en ejecución es importante tener en cuenta las inversiones existentes e incluirlas en la amortización y/o depreciación si aún se encuentran en estos procesos.
- Dentro de los costos se deben incluir todas las variables que intervienen en el proyecto independiente de su monto y el concepto de estos.
- Recuerde que dentro del análisis se debe tener en cuenta los incrementos anuales por efecto de la inflación y otros factores económicos que puedan afectar.



## 5.2. Análisis de Riesgos

Después de realizar el análisis de todos los factores modificadores, incluido el económico, es importante realizar el análisis de riesgos para validar la continuidad del negocio.

Se debe considerar las condiciones sociales, económicas y de mercado que determinen la continuidad del negocio, evaluando las variables que sensibilizan la proyección de la rentabilidad.

Dentro del análisis se debe tener en cuenta las posibles afectaciones sobre el desarrollo de los proyectos mineros, que se susciten como consecuencia de los cambios en las políticas de estado, mineras, ambientales, laborales, tributarias, entre otras.

Si bien la clasificación de la Reserva Mineral permite al profesional identificar el riesgo técnico en términos generales, la mejor práctica incluye el establecimiento de una metodología para identificar y clasificar los riesgos asociados con cada entrada de la estimación de la Reserva Mineral. Esto ayudará al profesional a establecer la categorización de la Reserva Mineral, proporcionando así una comprensión del riesgo técnico asociado con la estimación de la Reserva Mineral. Esta metodología, clasificación y análisis deben estar bien documentados.

## 5.3. Estimación de Reservas

Para la estimación de reservas minerales es necesario contar con procedimientos adecuados, entre los que se debe tener en cuenta:

### A) Preparación

El profesional debe documentar y utilizar una metodología en la estimación de las Reservas Minerales para garantizar que no se ignora ningún factor significativo. La planificación previa es importante para identificar los factores que afectan a la estimación de las reservas minerales. Utilizar una lista de comprobación para garantizar que se tienen en cuenta todos los aspectos es una buena práctica.

La definición y clasificación de las reservas minerales se rige por el ECRR®. Es importante que el mineral constituya la base de un proyecto económicamente viable.

La prueba de viabilidad económica debe estar bien documentada como parte del proceso de estimación de las reservas minerales. El requisito de viabilidad económica implica la determinación de los flujos de caja anuales y la inclusión de todos los parámetros que tienen un impacto económico.

Una vez analizados los factores modificadores de acuerdo con los aspectos técnicos, sociales, ambientales, legales, económicos, y demás variables o consideraciones involucradas en el proyecto minero, se estiman las reservas minerales, las cuales pueden ser Probables y/o Probadas, de acuerdo con los recursos mineros Indicados y/o medidos, estimados para el área estudiada.

La estimación de las reservas considera los impactos directos sobre el área y por ende el volumen de minerales y, por otro lado, el impacto o la afectación generada por el incremento de costos e inversiones, los cuales afectan directamente la rentabilidad de los proyectos.

### B) Categorización

El ECRR® establece dos categorías para la definición de la Reserva Mineral: Reserva Mineral Probada y Reserva Mineral Probable. El profesional debe asegurarse de que se cumplen los criterios mínimos antes de asignar estas categorías y debe tener en cuenta todos los datos utilizados para establecer la reserva mineral que afectan a la confianza en las categorías. La metodología para establecer la clasificación debe estar bien documentada y ser fácilmente comprensible. La mejor práctica incluye proporcionar una descripción narrativa de las razones cualitativas que subyacen a la selección de la clasificación.

Siempre que sea posible, deben utilizarse pruebas empíricas (por ejemplo, datos de producción) para calibrar y justificar la clasificación.



La conversión de los Recursos Minerales en las categorías de Reserva Mineral Probada o Reserva Mineral Probable puede completarse una vez que se hayan preparado las estimaciones del material diluido y recuperado de la mina. En todos los casos, deben cumplirse los requisitos del ECRR® o un estándar acogido por CRIRSCO al asignar las categorías de confianza de las Reservas Minerales. La clasificación de las Reservas Minerales puede ser un proceso iterativo para las minas subterráneas, donde pueden ser necesarias varias iteraciones antes de lograr una clasificación final. Sólo las partes de los recursos minerales clasificadas en las categorías de recursos minerales medidos o indicados pueden convertirse en reservas minerales.

Los Recursos Minerales Inferidos nunca deben clasificarse como Reservas Minerales. Si los Recursos Minerales Inferidos se utilizan en el desarrollo de planes mineros y programas de producción, deben tratarse como materiales de desecho. La clasificación de tales recursos minerales inferidos puede revisarse y actualizarse a medida que se disponga de nueva información. El material no clasificado nunca debe convertirse en reservas minerales.

### **C) Validación**

Es responsabilidad del profesional garantizar la verificación de todos los datos introducidos en la estimación de las reservas minerales. Dado que la estimación de las reservas minerales se basa en muchos datos, incluido el modelo de recursos minerales, es importante que los datos y su coherencia se validen como parte del proceso de estimación de las reservas minerales. Una metodología definida para lograr esto se considera la mejor práctica y se recomienda el uso de un protocolo como la lista de comprobación contenida en la sección.

La identificación de los aspectos críticos de la estimación de las reservas minerales es una parte importante de la verificación de los datos. Esto permite garantizar la materialidad de la información.

### **D) Documentación**

A menudo se llevan a cabo varias iteraciones de evaluaciones durante un largo periodo de tiempo antes de completar un Estudio de Viabilidad Preliminar. Las mejores prácticas incluyen la documentación adecuada de los datos/metodología/riesgos/supuestos utilizados en estas valoraciones, de modo que estén disponibles para futuras estimaciones de reservas minerales.

La información debe ser fácilmente recuperable, estar disponible y catalogada de forma que permita una fácil evaluación del historial de las evaluaciones realizadas y registre la ubicación de toda la información, informes, etc. pertinentes. Es importante garantizar que la información utilizada en una evaluación y los conocimientos adquiridos sobre un yacimiento mineral estén disponibles para futuros trabajos. Hay que tener cuidado con el almacenamiento y considerar la continua evolución de los formatos de los archivos informáticos y el impacto que esto puede tener en el trabajo anterior. Se recomienda la conversión de archivos de trabajos históricos a formatos que permitan un acceso continuado.

### **E) Declaraciones de Reserva Mineral**

Las declaraciones de Reservas Minerales deben ser inequívocas y suficientemente detalladas. En el caso de las estimaciones de reservas minerales a cielo abierto, la relación entre estéril y mineral (la relación de descapote) debe indicarse sin ambigüedades. Debe existir un vínculo obvio entre la estimación de las reservas minerales y la estimación de los recursos minerales. Las mejores prácticas incluyen la documentación de los factores (por ejemplo, dilución, pérdidas de extracción, recuperación de la planta) que se utilizaron en la preparación de la estimación de las reservas minerales.

Las reservas minerales se desarrollan a partir de las partes medidas e indicadas de los recursos minerales que cumplen todos los criterios técnicos y económicos necesarios para demostrar que el material puede extraerse, procesarse y venderse con beneficio-económico. Las reservas minerales incluyen factores modificadores y la demostración de la viabilidad técnica y económica mediante la realización de un estudio de prefactibilidad o un estudio de factibilidad positivo o, en el caso de las minas en explotación, la preparación de un modelo de flujo de caja para la vida útil de la mina. El modelo de flujo de caja de la vida útil de la mina debe utilizar únicamente material de las categorías de reservas minerales probadas o probables.

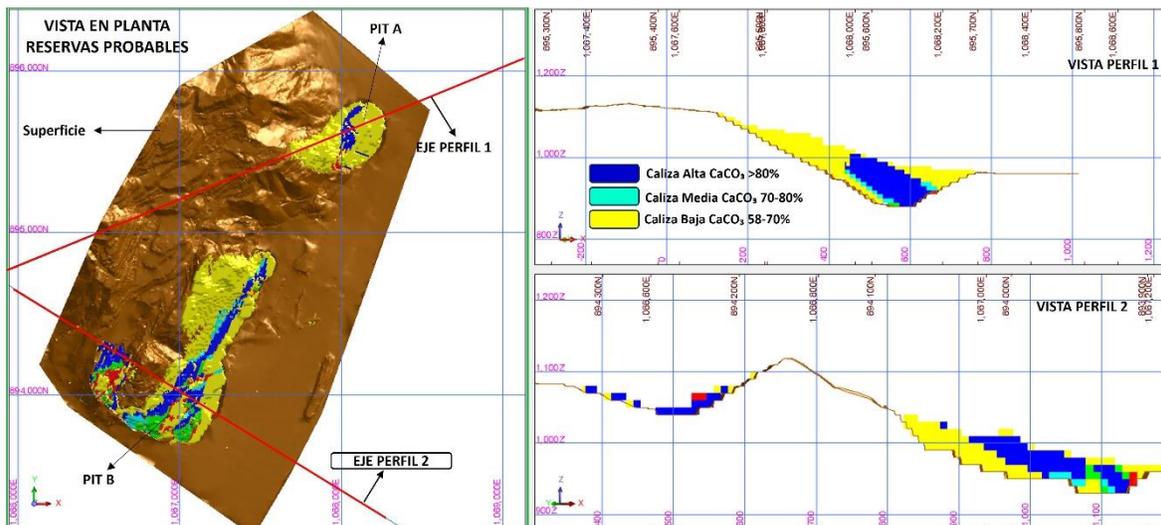


Como mínimo, las declaraciones de Reservas Minerales deben incluir una suma del tonelaje y la calidad (si es el caso) para cada una de las categorías Probadas y Probables para todas las zonas mineralizadas dentro del diseño de la Vida de la Mina. Pueden prepararse informes adicionales de las Reservas Minerales desglosados en cada una de las zonas mineralizadas, por método de extracción, por período o por cualquier otro criterio, siempre que se ajusten a los requisitos del ECRR® o un estándar acogido por CRIRSCO.

La notificación de las cifras de tonelaje y calidad debe reflejar el orden de exactitud o precisión de la estimación redondeando a un número apropiado de cifras significativas.

Es importante comprender que la declaración de una reserva mineral se basa en un conjunto determinado de parámetros técnicos y económicos que han demostrado su viabilidad técnica y económica en un momento determinado. En muchos casos, los parámetros técnicos o económicos pueden cambiar con el tiempo, de forma que la prueba de viabilidad puede dejar de dar un resultado positivo en una fecha posterior. Una declaración de reservas minerales para una fecha determinada puede dejar de ser válida posteriormente. Para las minas en fase de desarrollo, se recomienda revisar periódicamente las declaraciones de reservas minerales y ajustarlas según sea necesario para reflejar los parámetros técnicos y económicos del momento. En el caso de las minas en producción, debe realizarse una revisión de las reservas minerales al menos una vez al año para verificar que, como mínimo, el flujo de caja futuro no descontado es positivo. El flujo de caja ignora todos los costes irre recuperables y sólo tiene en cuenta los futuros costos de explotación (incluidos los cánones basados en los ingresos y los impuestos por cese de actividad basados en los ingresos) y los costos de cierre, así como los futuros costos de capital.

Figura 9. Reservas probables y características de calidad.



Fuente: Cortesía Grupo ARGOS.

## F) Discusión de la confianza relativa

El profesional debe explicar la confianza que se tiene en la información y datos reportados en la estimación de las reservas, informando de las fortalezas, falencias o restricciones en la información suministrada lo que explica los criterios para realizar la categorización de las reservas y como estas pueden verse afectadas por los diferentes factores modificadores.

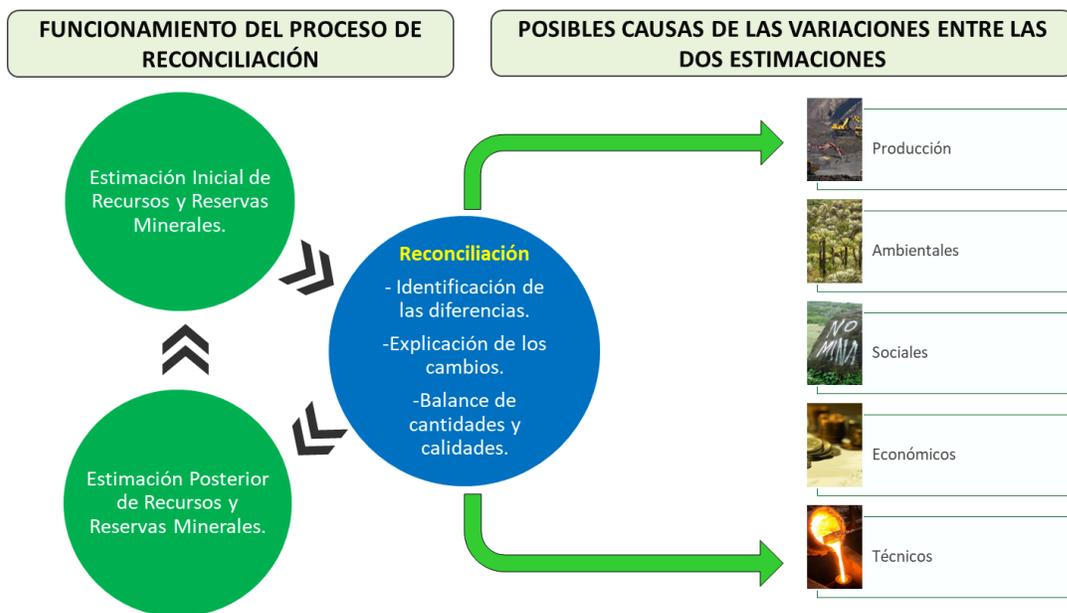
#### 5.4. Reconciliación

La estimación de recursos y reservas minerales requiere del análisis de las consideraciones empleadas para convertir recursos y reservas o los factores modificadores necesarios para determinar la viabilidad del proyecto minero, dichos factores pueden obedecer a condiciones de la compañía, pero frecuentemente éstos se encuentran fuera del control del proyecto. Es así como cambios en los precios del mercado global, nuevas regulaciones en materia ambiental, desarrollo de proyectos de infraestructura nacional, entre muchas otras situaciones, pueden contribuir a los cambios en la estimación de recursos y reservas minerales en un periodo determinado (ANM, 2023).

Por las razones anteriores y muchas más, es claro que las estimaciones de recursos y reservas son dinámicas en el tiempo, por lo tanto, es necesario contar actualizaciones periódicas que permitan cuantificar y cualificar los cambios en las estimaciones e identificar las causas de dichos cambios.

La reconciliación permite tener una trazabilidad de las causas de los cambios entre diferentes períodos, que pueden estar asociados a cambios normativos en materia ambiental o minera, obtención de permisos o licencias (ambientales, servidumbres),

Figura 10. Esquema del ciclo de reconciliación.



Fuente: ANM, 2023.

#### Recomendaciones

- Para proyectos en ejecución, registrar información periódicamente relacionada a los avances mineros, para compararla con las cantidades estimadas en los modelos para el mismo período, de manera que se evalúe la precisión de las estimaciones y se derive en la optimización de procesos de explotación y/o beneficio.
- Llevar planillas, formatos o bitácoras para el control y la cuantificación de los volúmenes de producción y registro de la recuperación.



- En planes de corto plazo, contar con la reconciliación periódicas, permite ajustar las proyecciones de los trabajos mineros.
- En la estimación de las reservas se debe establecer la metodología utilizada para la determinación de los volúmenes, los cuales deben estar justificados y debido soporte.
- Recordar que no es una buena práctica aplicar factores porcentuales sin la debida justificación a los recursos minerales para convertirlos a reservas, la estimación de reservas se basas en aplicar un diseño minero que incluye todos los factores modificadores a los recursos minerales.

### 5.5. Informes

Los informes para reportar los resultados de exploración, estimación de recursos o de reservas minerales deben ser claros, sin ambigüedad y con la información suficiente para que el lector pueda entender las conclusiones que se presentan.

En Colombia, los documentos técnicos deben ser presentados completamente en idioma español. En los casos en los cuáles los documentos técnicos deben cumplir con términos de referencia que están establecidos por Ley, se recomienda armonizar la información de los Términos de Referencia con la información que sugiere el ECCR®, en los que debe tener al menos:

- Descripción y Ubicación de la Propiedad
- Accesibilidad, Clima, Recursos Locales, Infraestructura y Fisiografía
- Descripción de las Actividades de Exploración Anteriores y sus Resultados
- Marco Geológico y Mineralización
- Tipos de Depósitos
- Actividades de la Exploración Minera
- Resultados de la Perforación
- Preparación de las Muestras, Análisis, Seguridad y Aseguramiento y Control de Calidad
- Verificación de los Datos
- Metodología para la estimación y categorización de recursos minerales
- Estimación y Categorización de recursos minerales
- Factor Modificador estudio de mercados
- Factor Modificador ambiental
- Factor Modificador Legal
- Factor Modificador infraestructura
- Factor Modificador minero
- ✓ Delimitación del área
- ✓ Métodos de explotación
- ✓ Seguridad en las labores mineras
- ✓ Dilución
- ✓ Pérdidas o recuperación minera
- ✓ Mano de obra y Equipos (rendimientos)
- ✓ Operaciones unitarias
- ✓ Manejo de estériles
- ✓ Vías o infraestructura de transporte
- ✓ Instalaciones mineras
- Factores Modificadores Geotécnicos, hidrogeológicos e hidrológicos
- Factor Modificador de beneficio y transformación
- Factor Modificador social
- Factor Modificador Escala de Producción y vida útil
- Factor Modificador análisis económico
- Análisis de riesgos
- Metodología para la estimación y categorización de reservas
- Estimación y Categorización de reservas



- Discusión de la confianza relativa
- Validación
- Secuenciamiento Minero
- Plan de cierre y abandono

Toda la información geográfica debe incluir el sistema de coordenadas vigente al momento de elaborar el documento técnico (por ejemplo, latitud/longitud o CTM12), el datum, esta información debe presentarse acorde con la normativa vigente.

Se debe incorporar información en secciones transversales, longitudinales y vistas en planta, ya sean estas en formato digital o físico, que representen la geología básica y los datos de exploración, tanto superficie como del subsuelo y su correlación con la geología superficial y con pozos de perforación cercanos.

### **Recomendaciones**

- Establecer el objetivo del documento técnico.
- Definir un contenido acorde con los términos de referencia aplicables y estándar a seguir.
- Definir el Sistema de coordenadas en el que se presentará la información geográfica del proyecto, igualmente se recomienda indicar el procedimiento seguido para la proyección de coordenadas de sistemas diferentes.
- En las salidas gráficas (figuras, mapas), resaltar los elementos que se pretende mostrar
- Si es factible, presentar un modelo en 3D con el diseño minero y la categorización de reservas.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alianza por la Minería Responsable (2016), Cartilla 2, Aspectos técnicos de la formalización. Disponible en: <https://www.responsiblemines.org/wp-content/uploads/2017/05/03-07-2017-Somos-Tesoro-Cartilla-2.pdf>
- Alfaro, M.A., 2007, Estimación de Recursos Mineros. Publicado por el autor, disponible en [http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/ALFARO\\_Cours\\_00606.pdf](http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/ALFARO_Cours_00606.pdf), 125p
- ANM, 2024, Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de yacimientos Polimetálicos. Agencia Nacional de Minería, Bogotá, 123p.
- Annels, 1991, Mineral deposit evaluation: a practical approach. 1991.
- Ausimm, T., 2014, Mineral Resource and Ore Reserve Estimation - the AusIMM Guide to Good Practice (monograph 30). Minerals Engineering, 14(9), II. [https://doi.org/10.1016/s0892-6875\(01\)80033-9](https://doi.org/10.1016/s0892-6875(01)80033-9)
- Carr, D.D., 1994, Industrial Minerals and Rocks, 6<sup>th</sup> Ed., Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 1, 196 p.
- CIM, 2003, Industrial Minerals: documento disponible en el sitio web de CIM como <https://mrmr.cim.org/media/1071/industrial-minerals.pdf>, 7 p.
- CIM, 2018, Guía para las Mejores Prácticas en la Exploración Minera. Preparado por el Comité de Recursos Minerales y Reservas Minerales del CIM. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Quebec.
- CIM (2019). Estimation of Mineral Resources & Mineral Reserves Best Practice Guidelines. Prepared by the CIM Mineral Resource & Mineral Reserve Committee. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Quebec. documento disponible en el sitio web de CIM como [https://mrmr.cim.org/media/1129/cim-mrmr-bp-guidelines\\_2019.pdf](https://mrmr.cim.org/media/1129/cim-mrmr-bp-guidelines_2019.pdf), 75p.
- CIM, 2023. CIM Industrial Minerals Best Practice Guidelines. Prepared by the CIM Mineral Resource & Mineral Reserve Committee. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Quebec. documento disponible en el sitio web de CIM como <https://mrmr.cim.org/media/1174/cim-industrial-minerals-leading-practice-guidelines.pdf>
- CCRR. (2018). Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas. Bogotá.
- Del Pino E., 2022. Riesgo en la minería subterránea. Gobierno de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería. Disponible en: <https://www.academia.edu/5013084/RIESGOS%20EN%20LA%20MINER%C3%8DA%20SUBTERR%C3%81NEA>
- Herrera-Quijano, S; Guijarro Cardozo, G; Duque, T. (2018). Protocolo para el Muestreo de Arcillas. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá.
- Lamar, J.E., 1961, Uses of Limestone and Dolomite, Circular 321, Urbana, Illinois: Illinois State Geological Survey, 48 p. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/10208934.pdf>
- López-Rendón, J.E., 2023. Algunas consideraciones para Guía de Buenas Prácticas en Rocas y Minerales Industriales. LOGEA S.A.S., Medellín, Documento Interno para Agencia Nacional de Minería, 4p.
- Ministerio de Minas y Energía, 2015. Glosario Técnico Minero. Disponible en: [https://www.anm.gov.co/sites/default/files/res\\_40599\\_15\\_glosario\\_tecnico\\_minero.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/res_40599_15_glosario_tecnico_minero.pdf)



- Ministerio de Minas y Energía - Ministerio de Medio Ambiente, 2002, Guía Minero Ambiental - Explotación. Disponible en: <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2050>
- Miree, H. L., Hains, D., & Mullins, W. J. (2003). Industrial Minerals Best Practice Guidelines. CIM Estimation Best Practice Committee. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Quebec
- Moon, C. J., Whateley, M. E. G., & Evans, A. M. (Eds.). (2006). Introduction to mineral exploration (Second Edi). Blackwell. [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(96\)82525-x](https://doi.org/10.1016/0169-1368(96)82525-x)
- Oracle. (s.f.). *¿Que es una base de datos?*. <https://www.oracle.com/co/database/what-is-database/>
- Ortiz, J.M., and Emery, X., 2004. Categorización de recursos y reservas mineras. Memorias de la Conferencia MININ 2004, disponible en [https://www.researchgate.net/publication/311828465\\_Categorizacion\\_de\\_recursos\\_y\\_reservas\\_mineras](https://www.researchgate.net/publication/311828465_Categorizacion_de_recursos_y_reservas_mineras), 14p.
- PMI. (2017). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. Pennsylvania: Project Management Institute, PMI. PMBOK
- Ronald, E., 2017, Rules of Thumb for Geological Modeling, artículo publicado el 17-abril-2017, disponible en la página <https://www.mininggeologygroup.com/rules-of-thumb-for-geological-modeling/>
- Stone, J. G., & Dunn, P. G. (2012). Ore Reserve Estimates in the Real World. In J. G. Stone & P. G. Dunn (Eds.), Special Publications No. 3 (Fourth, Issue 3). Society of Economic Geologists. <https://doi.org/10.5382/sp.03>
- Valencia-Suaza, E; Vélez-Giraldo, W; Dávila-Bolivar, C. (2022), Guía de buenas prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Depósitos de Placer – GBPDP-. CCRR®, ANM. Bogotá D.C.
- Vanderbilt Minerals, LLC, 2013, Filler Minerals Reference, Technical Data Sheet, Paint and Coatings No. 703, 4 p. Documento disponible en [www.vanderbiltminerals.com](http://www.vanderbiltminerals.com)



AGENCIA NACIONAL DE

**MINERÍA**

[www.anm.gov.co](http://www.anm.gov.co)