

GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS EN PLANEAMIENTO MINERO PARA OPERACIONES DE PEQUEÑA ESCALA Y FIGURAS DE FORMALIZACIÓN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (CANTERA)

**MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN**

2026


Energía



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia





La presente Guía de Buenas Prácticas para el Planeamiento Minero en Operaciones de Pequeña Escala y Figuras de Formalización de Materiales de Construcción fue elaborada en el marco del Convenio Interadministrativo N° 1876 de 2025, como un instrumento técnico orientado a fortalecer el planeamiento minero y apoyar la toma de decisiones en las operaciones de explotación de materiales de construcción.

Su contenido integra criterios geológicos, mineros, ambientales, sociales, de seguridad y financieros, con el propósito de proporcionar lineamientos y buenas prácticas que promuevan una actividad minera más eficiente, segura, responsable y sostenible. Asimismo, la guía busca contribuir a la consolidación de los procesos de formalización minera, la optimización del desempeño técnico, operativo y financiero de las explotaciones, así como al cumplimiento de la normativa vigente, favoreciendo el aprovechamiento racional de los recursos minerales y el desarrollo sostenible del sector.



Ministro de Minas y Energía
Edwin Palma Egea

Viceministra de Minas
Dra. Sorrel Parisa Aroca

Director de Formalización Minera
Alexander Reina Otero

Coordinador
Luis Alexander Sarmiento Vásquez

Equipo técnico

Ronnal Alexander Bello Bernal
Martha Yaneth Montanez Chaparro
Hector Guillermo Bermudez Ocampo

Supervisor:

Ing. Alejandro Fonseca Páez

Equipo técnico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Germán Alfonso Reyes Torres
Luis David Mesa Ríos
Luis Heriberto Naranjo
Edgar Rodrigo Hernández Buitrago
Cesar Augusto Cubides Medina
Sindy Vanesa Bolívar Crespo
Laura Natalia Villamarín Alarcón
Sharon Danessa Pinto Ortega
Angelo Lopera
Miguel Daniel Arévalo Cadena
Julián Fernando Hernández Rincón
Darío Luis Gómez García
Fabián Ricardo Fonseca Vargas
María Camila Socarras Moreno
Carlos Andrés Moreno
Diana Carolina Pérez Bello
Jairo Alonso Cárdenas Reyes
Jorge Hernán Buitrago Núñez
Ronald Ricardo Cárdenas Reyes
Luis Alfredo Maestre Ternera

Corrección de estilo de textos: Alexandra Cano Álvarez
Diseño y diagramación: Dayre Carolina Parra Valderrama



Contenido

INTRODUCCIÓN	18
1. ALCANCE, ESTRUCTURA Y PÚBLICO OBJETIVO	22
1.1 Alcance	22
1.2 Estructura	22
2. MECANISMOS DE FORMALIZACIÓN MINERA	24
3. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO SOPORTE DEL PLANEAMIENTO MINERO	32
3.1 Marco normativo	33
3.2 Sistema de referencia	34
3.3 Presentación de planos	36
3.4 Información geografía por etapa de planeamiento minero	38
3.4.1 Cartografía topográfica	39
3.4.1 Cartografía geológica	40
3.4.3 Cartografía hidrológica	
3.4.4 Cartografía de muestreo	43
3.4.5 Cartografía geotécnica	44
3.4.6 Evaluación y modelo geológico	45
3.4.7 Cartografía de minería	46
3.4.8 Cartografía ambiental	48
3.5 Entrega de la información conforme al Modelo de Datos Geográficos (MDG)	50
3.6 Entrega de información al Banco de Información Minera (BIM)	52
3.7 Reconciliación de recursos y reservas minerales	52
4. CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCION GENERAL DE LAS OPERACIONES MINERAS	54
4.1 Componentes de la caracterización de la operación minera	55
4.1.1 Etapas generales de la operación minera	57
4.1.2 Relación con el modelo geológico y la estimación de recursos	57
4.2 Evaluación geológica y modelamiento	58
4.2.1 Geología regional	58
4.2.1.1 Alcance en proyectos de pequeña minería	59
4.2.1.2 Componentes de la geología regional	60
4.2.1.3 Recomendaciones	63
4.2.2 Geología local	65
4.2.2.1 Alcance en pequeña minería	65
4.2.2.2 Componentes de la Geología Local	66
4.2.3 Caracterización del depósito	71
4.2.3.1 Alcance en pequeña minería	72



4.2.3.2 Componentes de la Caracterización del Depósito	72
4.2.3.3 Recomendaciones	75
4.2.4 Información de exploración directa y muestreo/ Control de calidad (QA/QC)	76
4.2.4.1 Alcance en pequeña minería	77
4.2.4.2 Componentes de la exploración directa y el muestreo	77
4.2.4.3 Controles básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) en pequeña minería	81
4.2.4.4 Recomendaciones	82
4.2.5 Modelo geológico	83
4.2.5.1 Alcance en pequeña minería	84
4.2.5.2 Componentes del modelo geológico	84
4.2.5.3 Representación aplicativa del modelo geológico	86
4.2.5.4 Resultados esperados	88
4.2.5.5 Recomendaciones	88
4.2.6 Estimación de recursos	89
4.2.6.1 Perspectivas razonables de explotación	90
4.2.6.2. Enfoques aplicables para la estimación de recursos	90
4.2.6.3 Integración del modelo geológico para el cálculo del recurso	92
4.2.6.4 Ajustes por calidad y parámetros físicos	93
4.2.6.5 Recomendaciones	95
4.2.7 Estudio geotécnico	95
4.2.7.1 Alcance en pequeña minería	95
4.2.7.2 Recomendaciones	99
4.3 Definición del método de explotación	100
4.3.1 Selección preliminar del método de explotación	100
4.3.2 Criterios generales para la selección del método de explotación	101
4.3.3. Fundamentos para la selección del método de explotación	102

5. DISEÑO DE MINA 104

5.1. Consideraciones geotécnicas	105
5.1.1. Parámetros geotécnicos para tener en cuenta	105
5.2. Consideraciones hidrogeológicas	106
5.2.1. Objetivo y relación con el planeamiento	107
5.2.2. Caracterización de aguas superficiales y subterráneas	107
5.2.3. Manejo de aguas superficiales	107
5.2.4. Canales perimetrales y drenaje de taludes	107
5.2.5. Rutas de evacuación en superficie	108
5.2.6. Manejo de aguas subterráneas y desagüe en el tajo	108
5.2.7. Plantas de tratamiento, reservorios y control de sedimentos	108
5.2.8. Monitoreo, mantenimiento y mejora continua	108
5.3. Consideraciones ambientales	109
5.3.1. Gestión de áreas de exclusión minera	110
5.3.2. Gestión de áreas de restricción minera	110
5.3.3. Articulación del proyecto minero con el ordenamiento territorial	111
5.3.4. Gestión de determinantes ambientales	111
5.3.5. Gestión de áreas de importancia ambiental	112



5.4. Recomendaciones transversales de diseño	112
5.4.1. Plan minero de explotación	112

6. PLANEAMIENTO MINERO 117

6.1. Planeación estratégica – largo plazo	118
6.2. Planeación táctica – mediano plazo	120
6.3. Planeación operativa – corto plazo	121
6.4. Planeación de cierre y postcierre	123

7. OPTIMIZACIÓN DEL PLANEAMIENTO MINERO, MONITOREO Y CONTROL..... 126

7.1. Optimización del planeamiento minero	127
7.2. Monitoreo geotécnico y operacional	128
7.3. Sistemas de control y toma de decisiones	128
7.3.1 Objetivos del sistema de control y toma de decisiones	129
7.4. Optimización del plan de minado	129
7.4.1. Principales acciones de optimización	129
7.5. Monitoreo geotécnico y operacional	130
7.5.1. Aspectos clave del monitoreo	130
7.6. Sistemas de control y toma de decisiones	131
7.6.1. Objetivos del sistema de control y toma de decisiones	131

8. GESTIÓN AMBIENTAL..... 132

8.1. Articulación entre los instrumentos técnicos mineros y los instrumentos de manejo ambiental	132
8.1.1. Requisitos para la solicitud de viabilidad y licenciamiento ambiental	134
8.2. Identificación de impactos ambientales	134
8.2.1. Evaluación de impactos ambientales en el marco de la formalización minera	135
8.2.2. Evaluación de impactos ambientales en el marco de la pequeña minería	136
8.3. Medidas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales	141
8.3.1. Gestión de materiales y residuos	142
8.3.1.1. Material estéril	142
8.3.1.2. Residuos sólidos ordinarios y peligrosos	145
8.3.2. Gestión del recurso hídrico desde el planeamiento	148
8.3.3. Gestión de Emisiones Atmosféricas	151
8.3.4. Gestión de la biodiversidad y servicios ecosistémicos	152
8.3.5. Planeamiento de las áreas de beneficio y transformación de materiales de construcción	153
8.3.6. Gestión social integrada al planeamiento minero	156
8.3.7. Cierre y Postcierre desde la Etapa de Planeamiento	158
8.4. Otras consideraciones ambientales	159
8.4.1. Permisos menores	159
8.4.2. Repositorios y herramientas de consulta ambiental para el planeamiento minero	163



9. PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN FINANCIERA	165
9.1. Identificación de costos directos e indirectos	165
9.1.1. CAPEX (Capital Expenditure)	166
9.1.2. OPEX	167
9.1.3. Costo Fijos	168
9.1.4. Costos variables	169
9.1.5. Costos mixtos	169
9.1.6. Diferencias y semejanzas entre el costo directo e indirecto	170
9.1.7. Recomendaciones para la identificación de costos directos e indirectos	171
9.2. Control de gastos y recursos	171
9.2.1. Estados financieros	172
9.2.1.1. Estado de Situación Financiera o Balance General	172
9.2.1.2. Estado de Resultados (P&L)	173
9.2.2. Ingresos	175
9.2.3 Costos	175
9.2.4. EBITDA	176
9.2.5. EBIT o utilidad operativa	176
9.2.6. Utilidad neta	176
9.2.7. Márgenes	177
9.2.7.1. Margen bruto	177
9.2.7.2. Margen operativo	178
9.2.7.3. Margen neto	178
9.2.8. Capital de Trabajo y KTNO	178
9.2.9. Flujo de Caja	180
9.2.10. Recomendaciones generales para el control de gastos y recursos	182
9.2.11. Proyecciones financieras y el entorno macroeconómico	184
9.3. Priorización de inversiones técnicas	186
9.3.1. Valor Presente Neto (VPN)	187
9.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	187
9.3.3. Período de Recuperación de la Inversión (Payback)	188
9.3.4. Punto de equilibrio	188
9.3.5. Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC)	189
9.3.6. Recomendaciones para la priorización de inversiones técnicas	192
9.4. Recomendaciones Generales	193
10. GLOSARIO TÉCNICO	195
11. SIGLAS Y ABREVIATURAS	202
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	203



13. ANEXOS	206
ANEXO CAPITULO 5. Diseño de mina	207
5.1. Diseño de mina	207
5.2. Servicios y energía	208
5.3. Control de aguas y drenajes	208
5.4. Beneficio del mineral	209
5.5. Diseño de botaderos de estériles	209
5.6. Seguridad e higiene minera	209
5.7. Producción y cronograma	210
ANEXO CAPITULO 8. Gestión ambiental	211
8.1 Listas Verificación Planeamiento Ambiental Proyecto Minero	211
1. Planteamiento de la gestión residuos sólidos	211
1.1. Identificación y caracterización	211
1.2. Planeamiento de la infraestructura	211
1.3. Gestión y aprovechamiento	212
1.4. Seguimiento	212
2. Planteamiento del recurso hídrico	213
2.1. Caracterización del área	213
2.2. Planeamiento y diseño	213
2.3. Seguimiento	214
3. Planteamiento de emisiones atmosféricas	214
3.1. Caracterización	214
3.2. Planeamiento y diseño	214
3.3. Seguimiento	215
4. Planteamiento de biodiversidad y ecosistemas	215
4.1. Caracterización	215
4.2. Planeamiento y diseño	215
3.3. Seguimiento	216
5. Planteamiento de emisiones atmosféricas	216
5.1. Localización y diseño	216
5.2. Medidas ambientales	216
5.3. Seguimiento	217
8.2. Listas Verificación Planeamiento Ambiental Proyecto Minero	218
8.3. Requerimientos ambientales en los diferentes instrumentos técnicos mineros	218



Figuras

Figura 2- 1	
Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización	25
Figura 2-2	
Clasificación minera para materiales de construcción	31
Figura 3-1	
Estructura de la información geográfica aplicada al planeamiento minero	32
Figura 3-2	
Marco normativo aplicable al planeamiento minero	33
Figura 3-3	
Plataforma IGAC, conversión de Coordenadas	35
Figura 3-4	
Formato y rotulo de presentación de mapas	37
Figura 3-5	
Secuencia de Cartografía	38
Figura 3-6	
Protocolo de muestreo y cadena de custodia.	43
Figura 3-7	
Ejemplo de visualización de un modelo geológico tridimensional (3D) para un yacimiento de caliza	46
Figura 3-8	
Ejemplo de estructura de capas geográficas conforme al Modelo de Datos Geográficos (MDG)	50
Figura 3-9	
Ejemplo de estructura de almacenamiento de una Geodatabase (GDB).	51
Figura 3-10	
Formulario de reconciliación de recursos minerales	53
Figura 4-1	
Proceso metodológico para la evaluación geológica regional.	58
Figura 4-2	
Proceso metodológico para la evaluación de geología local	65
Figura 4-3	
Proceso metodológico para la caracterización del depósito	71
Figura 4-4	
Proceso metodológico para la exploración directa, el muestreo y el aseguramiento de la calidad (QA/QC).	77
Figura 4-5	
Esquema del modelo geológico del depósito	84
Figura 4-6	
Ejemplo esquema tipo “semáforo” modelo Geológico	87
Figura 4-7	
Ejemplo esquema tipo “semáforo” estudio geotécnico	99
Figura 4-8	



Proceso general para la selección preliminar del método de explotación	102
Figura 5-1	
Parámetros principales del diseño minero a cielo abierto.	105
Figura 5-2	
Análisis de estabilidad y factores geomecánicos en el diseño minero.	106
Figura 5-3	
Determinantes ambientales para planeamiento minero	109
Figura 5-4	
Consulta anticipada y obligatoria de áreas de exclusión minera	110
Figura 5-5	
Restricciones ambientales para un planeamiento minero	111
Figura 5-6	
Ejes transversales y recomendaciones de diseño en la planificación minera	116
Figura 6-1	
Esquema integral del planeamiento minero.	118
Figura 6-2	
Comparativa del planeamiento minero.	123
Figura 7-1	
Optimización plan de minado para pequeña minería	127
Figura 7-2	
Flujo de procesos para el monitoreo y gestión de la seguridad en frentes mineros.	128
Figura 8-1	
Lista de requisitos para tramites ambientales ante la autoridad ambiental	134
Figura 8-2	
Listado de documentos anexos a la Resolución 1830 de 2024	136
Figura 8-3	
Paso a paso para identificación de impactos ambientales en el proyecto minero ..	137
Figura 8-4	
Tipo de medidas ambientales	142
Figura 8-5	
Clasificación de generación de estéril en minería a cielo abierto para materiales de construcción	143
Figura 8-6	
Disposición adecuada para materiales estériles a partir de proceso minero	143
Figura 8-7	
Proceso de Revegetalización de taludes en minería de materiales de construcción ..	144
Figura 8-8	
Esquema para disposición adecuada de residuos sólidos	146
Figura 8-9	
Selección de punto ecológico y punto RESPEL	147
Figura 8-10	
Ejemplo de planificación de seguimiento y monitoreo ambiental para minería de materiales de construcción	150
Figura 8-11	
Ilustración del ejemplo de las medidas de seguimiento	

de intervenciones propuestas en la guía	153
Figura 8-12	
Características del área de beneficio	154
Figura 8-13	
Propuesta de buenas prácticas en el proceso de beneficio y transformación de los materiales de construcción	156
Figura 8-14	
Guía para una gestión social responsable	157
Figura 8-15	
Lista de chequeo para cierre minero	159
Figura 8-16	
Definir la presentación de permisos menores	160
Figura 9-1	
Inversiones y activos a largo plazo (CAPEX)	166
Figura 9-2	
Costos y gastos operacionales más comunes en la minería de materiales de construc- ción.....	167
Figura 9-3	
Comparación entre CAPEX y OPEX.....	168
Figura 9-4	
Clasificación de los costos según su comportamiento	169
Figura 9-5	
Recomendaciones de gestión de costos indirectos y directos.....	171
Figura 9-6	
Ejemplo Estado de Situación Financiera o Balance General	173
Figura 9-7	
Estructura de un Estado de Resultados (P&L)	174
Figura 9-8	
Recomendaciones para el análisis del Estado de Resultados.....	175
Figura 9-9	
Tipos de márgenes de rentabilidad	177
Figura 9-10	
Capital de trabajo	179
Figura 9-11	
KTNO	180
Figura 9-12	
Flujo de caja libre	181
Figura 9-13	
Recomendaciones para el control de gastos y recursos	182
Figura 9-14	
Influencia del entorno macroeconómico en las proyecciones financieras de una operación minera de materiales de construcción.	186
Figura 9-15	
Fórmula del punto de equilibrio	189
Figura 9-16	
Análisis financiero de un proyecto minero de pequeña escala	190



Figura 9-17

Recomendaciones para la priorización de inversiones técnicas 193

Figura 9-18

Recomendaciones generales para la gestión financiera
en la pequeña minería de materiales de construcción 194





Tablas

Tabla 2-1	
Clasificación de los mecanismos de formalización en Colombia	26
Tabla 3-1	
Fuentes oficiales recomendadas	34
Tabla 3-2	
Parámetros del sistema de referencia MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12).	35
Tabla 3-3	
Elementos cartográficos del componente topográfico	39
Tabla 3-4	
Productos cartográficos del componente geológico	40
Tabla 3-5	
Elementos cartográficos del componente hidrológico	42
Tabla 3-6	
Elementos cartográficos para el muestreo y el análisis de laboratorio	43
Tabla 3-7	
Elementos cartográficos del componente geotécnico	44
Tabla 3-8	
Modelo geológico para el planeamiento minero	45
Tabla 3-9	
Elementos cartográficos del componente minero	47
Tabla 3-10	
Elementos cartográficos del componente ambiental	49
Tabla 4-1	
Esquema general de la caracterización de la operación minera	55
Tabla 4-2	
Componentes básicos de la caracterización de la operación minera	57
Tabla 4-3	
Fuentes oficiales recomendadas	59
Tabla 4-4	
Componentes de la evaluación geológica regional	60
Tabla 4-5	
Secuencia metodológica para la evaluación geológica regional.	61
Tabla 4-6	
Matriz de priorización regional para la evaluación geológica	62
Tabla 4-7.	
Recomendaciones técnicas para la aplicación de la geología regional	64
Tabla 4-8	
Componentes de la evaluación geológica local	66
Tabla 4-9	
Secuencia metodológica para la evaluación geológica local	67
Tabla 4-10	
Formato básico de registro de puntos geológicos	68



Tabla 4-11	
Lineamientos operativos para la geología local	70
Tabla 4-12	
Componentes y variables técnicas en la caracterización del depósito	72
Tabla 4-13	
Secuencia metodológica para la caracterización del depósito	73
Tabla 4-15	
Recomendaciones técnicas para la caracterización del depósito	75
Tabla 4-16	
Componentes de la exploración directa, el muestreo y el aseguramiento de la calidad (QA/QC).	78
Tabla 4-17	
Secuencia metodológica para la exploración directa, el muestreo y el aseguramiento de la calidad (QA/QC)	79
Tabla 4-18	
Formato básico de control de muestreo	80
Tabla 4-19	
Controles básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) en pequeña minería	82
Tabla 4-20	
Lineamientos en exploración y QA/AC	83
Tabla 4-21	
Elementos integrados en el modelo geológico	84
Tabla 4-22	
Secuencia metodológica para la construcción del modelo geológico	85
Tabla 4-23	
Modelo geológico en pequeña minería	86
Tabla 4-24	
Ejemplo de matriz de interpretación del modelo	86
Tabla 4-25	
Lineamientos para la construcción del modelo geológico	88
Tabla 4-26	
Requerimientos de información geológica según figura de formalización minera ..	89
Tabla 4-27	
Criterios básicos para verificar perspectivas razonables de explotación	90
Tabla 4-28	
Enfoques aplicables para la estimación de recursos en pequeña minería (ECRR).__	91
Tabla 4-29	
Secuencia metodológica para la estimación preliminar de recursos	92
Tabla 4-30	
Formato básico de estimación	94
Tabla 4-31	
Condiciones geotécnicas y criterios para el planeamiento de la explotación en pequeña minería	96
Tabla 4-32	
Secuencia metodológica para la evaluación geotécnica preliminar	97



Tabla 4-33	
Matriz básica de evaluación geotécnica	97
Tabla 4-34	
para la evaluación geotécnica en pequeña minería	100
Tabla 4-35	
Criterios generales para la selección preliminar	101
del método de explotación	101
Tabla 4-36	
Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación	103
Tabla 5-1	
principales parámetros geotécnicos en el diseño de mina	106
Tabla 5-2	
Componentes mínimos del Plan Minero de Explotación	113
Tabla 6-2	
Componentes de la planeación táctica de mediano plazo	120
Tabla 6-3	
Componentes de la planeación operativa de corto plazo	122
Tabla 6-4	
Componentes de la planeación de cierre y postcierre	124
Tabla 7-1	
Objetivos y finalidad del sistema de control y toma de decisiones	129
Tabla 7-2	
Principales acciones para la optimización del planeamiento minero	130
Tabla 7-3	
Aspectos clave del monitoreo geotécnico y operacional	130
Tabla 7-4	
Objetivos y finalidad del sistema de control y toma de decisiones	131
Tabla 8-1	
Capítulos del instrumento técnico minero que pueden ser soportados con información de la Licencia Ambiental	133
Tabla 8-2	
Lista de chequeo aplicación básica en normatividad ambiental	135
Tabla 8-3	
Metodología simplificada para la evaluación de impactos ambientales en proyectos de pequeña minería	137
Tabla 8-4	
Identificación de impactos por actividad	138
Tabla 8-5	
Identificación de impactos componente aire	139
Tabla 8-6	
Identificación de impactos componente agua	139
Tabla 8-7	
Identificación de impactos componente suelo	139
Tabla 8-8	
Identificación de impactos componente comunidad	139



Tabla 8-9	
Priorización de impactos ambientales y definición de medidas de manejo	140
Tabla 8-10	
Paso a paso para gestionar impactos	141
Tabla 8-11	
Seguimiento y control de manejo de ZODME	145
Tabla 8-12	
Seguimiento y control de residuos sólidos ordinarios y peligrosos.	148
Tabla 8-13	
Identificación de impactos y ejemplos de buenas prácticas de minería de materiales de construcción sobre el recurso hídrico	149
Tabla 8-14	
Ejemplo de buenas prácticas y seguimiento y monitoreo en la Gestión de emisiones atmosféricas	151
Tabla 8-15.	
Propuesta de ejemplo de Identificación de impactos y buenas prácticas en la minería de materiales de construcción sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos	152
Tabla 8-16	
Ejemplo de Impactos ambientales asociados al proceso de beneficio de materiales de construcción	155
Tabla 8-17	
Ejemplos prácticos para el cálculo del factor modificar social	158
Tabla 8-18	
Permisos menores asociados al planeamiento minero	161
Tabla 8-19.	
Repositorio y herramientas ambientales	164
Tabla 9-1	
Resumen tipos de costos	170
Tabla 9-2	
Flujo de caja libre	181
Tabla 9-3	
Ejemplo simplificado de Estado de Resultados mensual	183
Tabla 9-4	
Proyecciones financieras	184
Tabla 9-5	
Principales indicadores para la evaluación financiera de inversiones mineras	191





INTRODUCCIÓN

La implementación de buenas prácticas de planeamiento minero constituye un pilar fundamental para la formalización de la pequeña minería, al permitir que la actividad extractiva se desarrolle conforme a criterios técnicos, ambientales, económicos y sociales, en armonía con la normatividad vigente. En esta guía, las buenas prácticas se entienden como el conjunto de lineamientos que orientan la planificación, el diseño, la ejecución, el seguimiento y el cierre de un proyecto minero durante todo su ciclo de vida.

Desde un enfoque de sostenibilidad y gestión del riesgo, el planeamiento minero no solo facilita el cumplimiento de las obligaciones legales, sino que también contribuye a optimizar el aprovechamiento del recurso mineral, fortalecer la seguridad operacional, mejorar la eficiencia de la explotación y garantizar la viabilidad técnica, ambiental y económica del proyecto en el mediano y largo plazo.

En este contexto, la actividad minera exige una visión integral y estratégica. La planificación no debe limitarse a la extracción del recurso, sino que debe abarcar todas las etapas del proyecto, desde su formulación hasta el cierre, con el fin de asegurar operaciones seguras, eficientes y sostenibles. Para la pequeña minería, el planeamiento constituye una herramienta indispensable para reducir la incertidumbre, anticipar riesgos y adaptarse a las condiciones técnicas, económicas y ambientales propias de la actividad.

Con base en este enfoque, la presente guía desarrolla el planeamiento minero a partir de cuatro componentes fundamentales: geológico-cartográfico, minero, ambiental y financiero, los cuales interactúan de manera articulada para orientar la gestión integral de los proyectos de explotación de materiales de construcción.



Componentes integrales del planeamiento minero

1. Componente geológico-cartográfico: fundamento técnico del proyecto

Este componente constituye la base sobre la cual se desarrolla el diseño minero, al proporcionar el conocimiento necesario sobre la naturaleza, distribución, geometría y características del yacimiento. Comprende desde el análisis de la geología regional y local hasta la estimación de recursos minerales, incorporando aspectos geotécnicos, geomorfológicos y cartográficos que permiten reducir la incertidumbre y respaldar la toma de decisiones durante la planificación de la explotación.

2. Componente minero: planificación de la explotación

Este componente comprende la definición de los métodos de explotación, la secuencia minera, el diseño de labores, la programación de la producción y la planificación de las operaciones necesarias para desarrollar una explotación técnicamente viable, segura y eficiente. En la pequeña minería, una adecuada planificación operacional favorece la continuidad del proyecto, optimiza el aprovechamiento del recurso mineral y facilita la adaptación a las condiciones cambiantes del yacimiento y del entorno.

3. Componente ambiental: sostenibilidad y gestión del territorio

El componente ambiental debe incorporarse desde las etapas iniciales del planeamiento, permitiendo identificar, prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos derivados de la actividad minera. Su adecuada gestión trasciende el cumplimiento de las obligaciones legales, al contribuir a la sostenibilidad del proyecto, la protección de los recursos naturales y el fortalecimiento de las relaciones con las comunidades y demás actores del territorio.

4. Componente financiero: viabilidad y sostenibilidad económica

Este componente permite evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante la estimación de inversiones, costos, ingresos y flujos financieros, facilitando la toma de decisiones durante las diferentes etapas de la operación. En la pequeña minería, donde la rentabilidad suele estar condicionada por variaciones en los precios del mercado, los costos operacionales y la productividad, una adecuada planificación financiera resulta indispensable para garantizar la continuidad y sostenibilidad del proyecto.

En la práctica, muchas operaciones de pequeña minería presentan limitaciones en el registro de información técnica y financiera, así como en el control de costos, lo que dificulta evaluar su desempeño y planificar su crecimiento. Por esta razón, la presente guía incorpora lineamientos prácticos orientados a fortalecer la planificación financiera y facilitar la estimación y el control de los principales costos asociados a la actividad minera.

Finalmente, esta guía tiene como propósito orientar a los pequeños productores de materiales de construcción y a los actores involucrados en los procesos de formalización minera en la planificación integral de sus proyectos, promoviendo una visión que abarque todo el ciclo de vida de la explotación, desde su formulación hasta el cierre.



Bajo este enfoque, el documento busca dar respuesta a preguntas fundamentales para la planificación del proyecto:

1. ¿Cómo planificar de manera integral las diferentes etapas de un proyecto minero?
2. ¿Cómo cumplir los requisitos técnicos, ambientales, sociales y económicos establecidos en la normatividad vigente?
3. ¿Cómo optimizar el aprovechamiento del recurso mineral y generar valor para el titular minero y el territorio?
- 4.

De esta manera, la guía contribuye a fortalecer la toma de decisiones basada en criterios técnicos, promoviendo una minería formal, segura, responsable y sostenible.





1. ALCANCE, ESTRUCTURA Y PÚBLICO OBJETIVO

1.1 Alcance

La Guía de Buenas Prácticas para el Planeamiento Minero en Operaciones de Pequeña Escala y Figuras de Formalización para Materiales de Construcción establece lineamientos técnicos orientados a fortalecer la planificación integral de los proyectos mineros, promoviendo la aplicación de criterios que mejoren la eficiencia operacional, la seguridad minera, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad ambiental, social y económica de la actividad extractiva.

Su alcance comprende las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto minero, desde la recopilación y el análisis de la información geológica y cartográfica hasta el diseño de mina, el planeamiento de la explotación, el monitoreo y control operacional, la optimización del proceso productivo, la gestión ambiental, la evaluación financiera y la planificación del cierre minero.

Para ello, la guía integra de manera articulada cuatro componentes fundamentales del planeamiento: geológico-cartográfico, minero, ambiental y financiero, reconociendo que la interacción entre ellos constituye la base para una adecuada toma de decisiones durante todas las etapas del proyecto.

El documento adopta un enfoque eminentemente práctico, dirigido principalmente a las operaciones de pequeña minería dedicadas a la explotación de materiales de construcción y a los proyectos desarrollados bajo los diferentes mecanismos de formalización establecidos por la legislación minera colombiana. No obstante, muchos de los lineamientos y buenas prácticas aquí presentados podrán adaptarse a operaciones de mayor escala, considerando las particularidades técnicas, operativas y regulatorias de cada proyecto.

Asimismo, incorpora recomendaciones técnicas alineadas con la normatividad minera y ambiental vigente, los términos de referencia expedidos por la Agencia Nacional de Minería y las mejores prácticas de ingeniería aplicables al planeamiento minero, con el propósito de facilitar la elaboración de los instrumentos técnicos requeridos durante las distintas fases de desarrollo del proyecto.

En consecuencia, esta guía constituye un instrumento de orientación técnica que busca fortalecer las capacidades de planificación de los pequeños productores de materiales de construcción, reducir la incertidumbre en la toma de decisiones, optimizar el aprovechamiento del recurso mineral y promover operaciones mineras seguras, eficientes, responsables y sostenibles.

1.2 Estructura

La guía ha sido organizada siguiendo la secuencia lógica del ciclo de vida de un proyecto de explotación de materiales de construcción, iniciando con la recopilación de la información técnica necesaria para la caracterización del yacimiento y finalizando con los aspectos relacionados con la evaluación financiera, la gestión ambiental y el cierre minero. Esta organización permite comprender de manera progresiva cada una de las etapas del planeamiento minero y su relación con los instrumentos técnicos requeridos por la autoridad minera.

La estructura general de la guía comprende los capítulos contenidos en la **Figura 1-1**



Figura 1-1.

Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización



La organización propuesta permite utilizar la guía tanto como documento de consulta técnica como herramienta práctica para la elaboración de los diferentes instrumentos requeridos durante la formulación, ejecución y seguimiento de proyectos de pequeña minería.

Público objetivo

La presente guía está dirigida principalmente a los pequeños productores de materiales de construcción que desarrollan actividades mineras o adelantan procesos de formalización en Colombia, así como a los profesionales, consultores, operadores mineros, autoridades y demás actores que participan en la planificación, evaluación, seguimiento y acompañamiento técnico de estos proyectos.

En Colombia, la formalización minera se desarrolla mediante diferentes mecanismos establecidos en la legislación vigente, bajo el seguimiento de la Agencia Nacional de Minería y de la autoridad ambiental competente, quienes verifican el cumplimiento de los requisitos técnicos, jurídicos, ambientales y de seguridad necesarios para garantizar que la actividad minera se desarrolle de manera legal, segura y sostenible.



2. MECANISMOS DE FORMALIZACIÓN MINERA

24

En Colombia, la formalización minera comprende un conjunto de mecanismos establecidos en la legislación vigente, orientados a promover el desarrollo de la actividad minera dentro del marco de la legalidad, la sostenibilidad y el aprovechamiento responsable de los recursos minerales. Su implementación está sujeta al seguimiento de la Agencia Nacional de Minería (ANM) y de las autoridades ambientales competentes, quienes verifican el cumplimiento de los requisitos técnicos, jurídicos, sociales y ambientales aplicables.

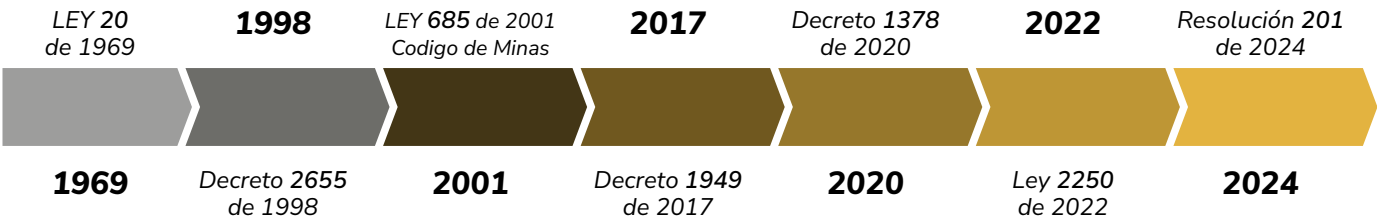
El marco normativo que regula los procesos de formalización minera se fundamenta en la Ley 20 de 1969, mediante la cual se establece la propiedad estatal de los recursos naturales no renovables, y en la Ley 685 de 2001 (Código de Minas), que constituye el principal instrumento regulador de la actividad minera en Colombia. Este marco se complementa con el Decreto 1949 de 2017, el Decreto 1378 de 2020, la Ley 2250 de 2022, que incorpora disposiciones para el fortalecimiento de la pequeña minería y los procesos de formalización,

y la Resolución 201 de 2024, mediante la cual se establecen lineamientos técnicos y operativos para la implementación de dichos mecanismos.

En el contexto de la presente guía, el conocimiento de los diferentes mecanismos de formalización minera resulta indispensable, dado que cada uno establece condiciones particulares para el acceso, permanencia y desarrollo de la actividad minera formal. Asimismo, estos mecanismos determinan los criterios para el reconocimiento de los pequeños productores mineros y definen los requisitos técnicos que orientan la formulación y ejecución de los instrumentos de planeamiento minero.

La **Figura 2-1** presenta los mecanismos de formalización minera previstos en la legislación colombiana vigente, con énfasis en aquellos aplicables a la pequeña minería.

Figura 2- 1
Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización



El marco jurídico que sustenta los procesos de legalización y formalización minera comprende, entre otras disposiciones, la Ley 20 de 1969, que establece la propiedad estatal de los recursos naturales no renovables; la Ley 685 de 2001 (Código de Minas); el Decreto 1949 de 2017; el Decreto 1378 de 2020; la Ley 2250 de 2022, que fortalece la pequeña minería, y la Resolución 201 de 2024, que establece lineamientos técnicos y operativos para la implementación de los procesos de formalización.

En este contexto, la presente guía constituye una herramienta de apoyo para los diferentes actores vinculados a los procesos de formalización minera, facilitando la comprensión de los requisitos técnicos asociados al planeamiento de la explotación y promoviendo la aplicación de buenas prácticas acordes con la normatividad vigente.



Tabla 2-1
Clasificación de los mecanismos de formalización en Colombia

ID	Mecanismo de Formalización	Proceso de trámite	Términos de Referencia	Soporte Legal	Resultado
Mecanismo de Formalización					
1	Solicitud de Contrato de Concesión Minera Ley 685, 2001	Propuesta de solicitud de contrato de concesión Proceso de Evaluación de la propuesta (428 de 2013 de ANM y el artículo 270 de la Ley 685 de 2001) Firma Contrato de Concesión de 2001) Ley 685 de 2001 por 30 años Presentación y Aprobación Documento Técnico (PTO) Presentación y Viabilidad Ambiental definitiva (Licencia Ambiental) Tiempos Clave Evaluación Aprobación Temporal Contrato ▪ Trámite ordinario ▪ Pueden ingresar personas naturales y jurídicas ▪ Es la regla general	PTO (Resolución, 299, 2018) Licencia Ambiental Definitiva (Resolución, 2206, 2016)	Ley 685, 2001 (Código de Minas)	Contrato de Concesión
2	Solicitud de Área de Reserva Especial Resolución 201,2024.	Proceso para declarar y desarrollar áreas De reserva especial en minería ÁREAS DE RESERVA ESPECIAL Designadas por el Estado para minería estratégica. Para la solicitud se requiere el documento técnico explícito en la Resolución 201 de 2024, Artículo 5 1 MES de evaluación Dan 45 DIAS para solicitar información adicional AÑO DESPUÉS para sacar la LICENCIA AMBIENTAL DEFINITIVA (Términos de Referencia - Resolución 2206 de 2016) Si el PTOD es aprobado → Pasa a ser CONTRATO ESPECIAL DE CONCESION 30 DÍAS para evaluación 1 MES para requerimientos Luego de ser ARED se tiene 1 AÑO para presentar el Instrumento Ambiental PTOD (Términos de Referencia según Parágrafo 1, Art. 6 - Ley 2250 de 2022). Tiempos Clave Evaluación Aprobación Temporal Contrato Licencia Definitiva ▪ Por única vez y NO requiere PIN. (Radicación en Anna Minería). ▪ Se presenta por una Comunidad minera tradicional (Acreditar minería tradicional como mínimo desde el 11 de julio de 2012). ▪ Los solicitantes no deben tener título, ni solicitudes mineras vigentes. ▪ Se realiza visita de verificación de la tradicionalidad. ▪ Prerrogativa de explotación cuando se viabilice el trámite (acto administrativo de declaración y delimitación del ARE). ▪ Volúmenes de explotación de la pequeña minería. ▪ La no presentación de la Licencia Ambiental Temporal (LAT) genera pérdida de la prerrogativa de explotación. ▪ Publicación en el Ruco. ▪ El Contrato Especial de Concesión se resuelve en un plazo máximo de 6 meses tras radicar el PTOD, requiriendo la aprobación de este instrumento técnico y la respectiva viabilidad ambiental.	Documento técnico explícito en la ANM, Resolución 201, 2024 art. 5. PTOD con términos de referencia según los dispuesto en el parágrafo 1 de la Ley 2250, 2022, art. 6. Licencia Ambiental Temporal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 1830, 2024) Licencia Ambiental Definitiva (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 2206, 2016)	Ley 685 de 2001, art. 31); Ley 2250, 2022, art. 4); Resolución, 201, 2024.	Contrato Especial de Concesión



3	Solicitud Propuesta de Concesión con Requisitos Diferenciales	Solicitud de Propuesta de contrato de concesión con requisitos Diferenciales Evaluación (Con o Sin Explotación Anticipada) Presentar y Otorgar Licencia Ambiental Temporal (1 año) Firma del Contrato de Concesión Diferencial Presentar y Otorgar Plan de Trabajos y Obras Diferencial Presentar Licencia Ambiental Definitiva para el término del Contrato Diferencial Tiempos Clave Evaluación Aprobación Temporal Contrato - Para pequeños mineros, beneficiarios de devolución de áreas y comunidades étnicas. - Área y producción definidas por el MME (Máx. 100 Ha y Máx. producción D1378/20). - Presentación del anexo técnico (el cual debe incluir entre otros aspectos, el programa mínimo exploratorio, la idoneidad laboral y ambiental, y el estimativo de la inversión mínima que se requiere para la exploración). - Formato A Diferencial (para el contrato de concesión SIN explotación anticipada). - Formato C Diferencial (para el contrato de concesión CON explotación anticipada). - Capacidad diferencial económica. - Etapas de explotación anticipada (Diferencial). - Fiscalización diferencial. - Instrumento ambiental diferencial. - Presentar certificación ambiental. Las autoridades ambientales certifican la existencia o no de áreas de interés ambiental, y determinan si es posible o no el desarrollo de actividades mineras en un lugar en específico.	Documento técnico explícito en ANM, Resolución 201, 2024 art. 5. PTOD con términos de referencia según los dispuesto en el parágrafo 1 de la Ley 2250, 2022, art. 6. Licencia Ambiental Temporal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 1830, 2024) Licencia Ambiental Definitiva (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 2206, 2016).	Decreto 1378, 2020.	Contrato de Concesión Diferencial
4	Legalización de minería de hecho	Programa de legalización de minería de hecho Radicación de la Solicitud Evaluación Técnico-Jurídica Informe de Viabilidad de la Legalización Plan de Trabajos y Obras - PTO Contrato de Concesión Minera Explotadores de minas de propiedad estatal sin título con anterioridad al 17 de agosto. Visita técnica Exploradores Permisos, autorizaciones y concesiones (30 días) Etapa de Explotación Área libre Autoridad minera - Autoridad ambiental. Autorizados - Guías minero-ambientales Mineros: aceptación o rechazo Contrato Radicación Evaluación Informe de Viabilidad Contrato - Termino improrrogable de 3 años, contados a partir del 1 de enero de 2002. - PTO y PMA con apoyo de las autoridades mineras y ambientales. - A la fecha, la autoridad minera no recibe este tipo de solicitudes, evaluando solo las que se encuentran en trámite	PTO (ANM, Resolución, 299, 2018) Licencia Ambiental Definitiva (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 2206, 2016).	Ley, 685, 2001, art. 165.	Contrato de Concesión



5	Solicitudes de formalización de minería tradicional	Programa de formalización de minería tradicional Prerrogativa de Explotación 25 Mayo 2019 Art. 325 - L.1955 Etapa de Evaluación Viabilidad Técnica Programa de Trabajos y Obras - PTOD Máx. 4 meses Contrato Especial de Concesión Minera 1 año Una vez inscrito el contrato tendrá 1 año para tramitar y obtener la LAG. Etapa de Explotación Máx. 30 años Etapa de Evaluación Viabilidad Técnica Formalización Contrato - Solicitudes presentadas hasta el 10 de mayo de 2013. - PTO cuatro (4) meses a partir de la viabilidad técnica. - Licencia ambiental temporal (Términos de referencia MADS). - En caso de superposiciones totales se realiza mediación. - A la fecha, la autoridad minera no recibe este tipo de solicitudes.	PTO (ANM, Resolución, 299, 2018) Licencia Ambiental Definitiva (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 2206, 2016).	Ley 1955, 2019.	Contrato de Concesión
		Mecanismos de Formalización Minera en Área Titulada			
6	Solicitud de Subcontrato de Formalización	Solicitud de Propuesta de contrato de concesión con requisitos Diferenciales Propuesta de solicitud de subcontrato de formalización (Max. 30% de Contrato) Acto Administrativo Autorizando el Subcontrato de Formalización (Licencia Temporal) Licencia Ambiental Temporal (1 año) (Licencia Temporal) Presentación y Aprobación del Plan de Trabajos y Obras Complementario Presentación y Viabilidad Ambiental (Licencia Ambiental Definitiva) ó Cesión Parcial de la Licencia Temporal Propuesta Autorización Aprobación Licencia Definitiva - Dirigido a titulares mineros y pequeños mineros tradicionales con labores antes del 15 de julio de 2013. - Área Máx. de 150 has (no debe superar el 30% del área del título). - Actividades de pequeña minería. - Programa de trabajos y Obras Complementario (PTOC). - Duración no inferior a 4 años, prorrogable máximo hasta la vigencia del título. - Prerrogativa de explotación. - Instrumento ambiental diferencial. - No superposición entre los planeamientos mineros.	PTOC con términos de referencia según los dispuesto en el parágrafo 1 de la Ley 2250, 2022, art. 6). Licencia Ambiental Temporal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 1830, 2024). Licencia Ambiental Definitiva (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 2206, 2016).	Decreto 1949 de 2017; Ley 2250 de 2022.	Subcontrato de Formalización



7	Devolución de Áreas con fines de formalización	Devolución de área para la formalización Solicitud - Autoridad Minera Aprobación de la Devolución de Área Prerrogativa de Explotación Etapas de Evaluación Diferenciales PTOD - "LAT" Contrato de Concesión Minera 1 año Una vez inscrito el SFM tendrá 1 año para tramitar y obtener la LAG. Etapas de Explotación Máx. 30 años Etapas de Evaluación Aprobación de Devolución Formalización Contrato ▪ Dirigido a titulares mineros y pequeños mineros con labores antes del 15 de julio de 2013. ▪ Con fines de formalización. ▪ Área máx. a devolver 150 has. ▪ Prerrogativa ▪ Instrumento ambiental diferencial. ▪ Condiciones del PCCD. ▪ Nace un nuevo título minero independientemente y con obligaciones propias.	Ley 685, 2001.	Ley 2250, 2022.	Contrato de Concesión Diferencial
8	Contrato de Operación	Contrato de Operación Es un acuerdo entre terceros. Se rige por las normas del derecho privado, esto es por el Código Civil. No se requiere inscripción en el Registro Minero Nacional. No obstante, lo anterior, es requisito informar a la autoridad nacional minera sobre la suscripción de dichos acuerdos. El titular minero es quien deberá responder ante la autoridad minera respecto al cumplimiento de las obligaciones legales y contractuales derivadas del título minero. Etapas de Evaluación Aprobación de Devolución Formalización Contrato ▪ Es un acuerdo entre terceros. ▪ Se rige por las normas del derecho privado, esto es por el Código Civil. ▪ No se requiere inscripción en el Registro Minero Nacional. No obstante, lo anterior, es requisito informar a la autoridad nacional minera sobre la suscripción de dichos acuerdos. ▪ El titular minero es quien deberá responder ante la autoridad minera respecto al cumplimiento de las obligaciones legales y contractuales derivadas del título minero.	Ley 685, 2001	Ley 685, 200, art. 27.	Independencia del Titular Minero con el Operador reconocido
9	Cesión de Derechos	Cesión de derechos Un titular minero (cedente) puede transferir sus derechos a un tercero mediante un negocio jurídico de carácter privado, en el cual el cesionario entrega obligaciones emanadas del contrato. Autorización de la Autoridad Minera Se requiere dar aviso y autorización de la Autoridad Minera. Cesión Parcial de Derechos En el caso de la cesión parcial, se entrega un porcentaje de los derechos y obligaciones por parte del cedente al cesionario. Capacidad Económica Se debe demostrar capacidad económica para soportar las obligaciones derivadas del título minero. Etapas de Evaluación Viabilidad Técnica Formalización Contrato	Ley 685, 2001.	Ley 685, 2001, art. 27.	Contrato de Concesión



30

En este contexto, la presente guía constituye una herramienta de apoyo para los diferentes actores vinculados a los procesos de formalización minera, facilitando la comprensión de los requisitos técnicos asociados al planeamiento de la explotación y promoviendo la aplicación de buenas prácticas acordes con la normatividad vigente.

En el contexto de los procesos de formalización minera, la legislación colombiana establece criterios para clasificar a los productores mineros de acuer-



do con el mineral explotado y los niveles de producción autorizados. Esta clasificación constituye un referente para determinar el acceso a los diferentes mecanismos de formalización y para definir las obligaciones técnicas, ambientales y operativas aplicables a cada tipo de explotación. En el caso de los materiales de construcción, dichos criterios permiten identificar las operaciones que se consideran de pequeña minería y, por tanto, aquellas a las que se orienta la presente guía.

En relación con lo anterior, en las etapas de construcción y montaje, exploración y explotación de Materiales de Construcción se establece la clasificación del pequeño minero, dentro de la cual se definen los criterios de formalización y sus respectivas modalidades

Figura 2-2

Clasificación minera para materiales de construcción



Nota. Adaptado de (Ministerio de Minas y Energía, Decreto 1666, 2016).



3. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO SOPORTE DEL PLANEAMIENTO MINERO

La información geográfica constituye uno de los principales insumos técnicos para el planeamiento minero en operaciones de pequeña escala dedicadas a la explotación de materiales de construcción. Su adecuada recopilación, organización, análisis y representación espacial permiten integrar información topográfica, geológica, minera y ambiental, facilitando la toma de decisiones durante el diseño de la explotación, la planificación de las operaciones y la identificación temprana de riesgos.

En este contexto, la cartografía trasciende su función documental y se convierte en una herramienta fundamental para el análisis, la planificación y el seguimiento de la actividad minera. La representación espacial del proyecto facilita la comprensión de la geometría del yacimiento, las características del terreno, la ubicación de las labores mineras y su interacción con el entorno físico y ambiental, proporcionando información clave para el desarrollo de una explotación técnica, segura y sostenible.

La integración de la información geográfica durante las diferentes etapas del proyecto puede representarse mediante una secuencia metodológica que inicia con la recopilación de información base y culmina con la generación de insumos para el planeamiento minero. Esta secuencia se presenta en la **Figura 3-1**, la cual ilustra la relación entre los principales componentes de la información geográfica y su aporte al proceso de planificación de la explotación.

Figura 3-1

Estructura de la información geográfica aplicada al planeamiento minero



Como se observa en la **Figura 3-1**, la información geográfica constituye un eje transversal para el desarrollo del proyecto minero, ya que integra diferentes fuentes de información técnica que sirven de soporte para el diseño de la explotación, la evaluación de las condiciones del terreno, la planificación de las operaciones y la gestión de los aspectos ambientales y de seguridad.



3.1 Marco normativo

El planeamiento minero en Colombia se fundamenta en el marco normativo que regula la explotación, explotación y formalización de los recursos minerales, así como en los instrumentos técnicos establecidos por la Agencia Nacional de Minería (ANM) para cada figura jurídica aplicable.

Con la expedición de la Ley 685 de 2001 se sustituyó el régimen establecido en el Decreto 2655 de 1988, conservándose únicamente algunas disposiciones transitorias para los títulos mineros otorgados bajo dicho marco normativo. Posteriormente, el desarrollo normativo incorporó nuevas figuras y mecanismos orientados a fortalecer los procesos de formalización minera y a establecer requisitos técnicos acordes con las diferentes modalidades de explotación.

En este contexto, el marco normativo define los instrumentos técnicos que deben elaborar los titulares mineros y los beneficiarios de los mecanismos de formalización, de acuerdo con las características del proyecto y la figura jurídica mediante la cual se desarrolla la actividad extractiva.

La **Figura 3-2** presenta de manera esquemática la evolución del marco normativo aplicable al planeamiento minero y su relación con los principales instrumentos técnicos exigidos por la autoridad minera.



Como se observa en la **Figura 3-2**, la normativa vigente establece diferentes instrumentos técnicos según la modalidad de explotación y el mecanismo de formalización aplicable, proporcionando los lineamientos que orientan la planificación, ejecución y seguimiento de los proyectos mineros.

La **Tabla 3-1** presenta las principales fuentes oficiales de información relacionadas con las figuras mineras vigentes y los instrumentos técnicos requeridos para cada una de ellas, constituyéndose en una herramienta de consulta para la correcta estructuración del planeamiento minero conforme al marco normativo aplicable.

Figura 3-2
 Marco normativo aplicable al planeamiento minero

LEY 685 / 2001	Instrumento Técnico	TDR Adoptado por la ANM	Cartografía	Planeamiento Minero
	Figura Minera (TipoTítulo o formalización) PTO/PTOD/PTI/PTOC	◦ Res 99 / 2018 ◦ Res 10 / 2024 ◦ Res 417 / 2014 ◦ Res 480 / 2014	◦ Normativa ◦ Modelo Datos Geográficos ◦ Representación	◦ Diseño ◦ Operación ◦ Control



Tabla 3-1

Fuentes oficiales recomendadas

Figura Minera	Instrumento Técnico	Términos de Referencia
Contrato de Concesión	PTO	Resolución 299, 2018
Contrato de concesión diferencial	PTOD	Resolución 10, 2024
contrato de concesión minera especial - comunidades negra	PTO	Resolución 299, 2018
Contrato de exploración y explotación minera	PTO	Resolución 299, 2018
Contrato en virtud de aporte	PTI	Resolución 299, 2018
Contrato especial de concesión	PTOD	Resolución 10, 2024
Licencia de exploración	PTI	Resolución 299, 2018
Licencia especial material de construcción	PTI	Resolución 299, 2018
Licencia especial para comunidad	PTI	Resolución 299, 2018
Permiso (explotaciones menores – régimen transitorio)	PTI	Resolución 299, 2018
Registro minero de canteras	PTI	Resolución 299, 2018
Área de Reserva Especial Declarada	PTOD	Resolución 10, 2024
Solicitud de legalización	PTO	Resolución 417, 2014
Subcontrato	PTOC	Decreto 480, 2014
Área de Reserva Especial Subcontrato	PTOD	Resolución 10, 2024

3.2 Sistema de referencia

34

La información geográfica constituye la base para el desarrollo del planeamiento minero y, por tanto, debe estructurarse bajo un sistema de referencia común que garantice la precisión, consistencia e interoperabilidad de los datos espaciales.

En Colombia, el sistema oficial de referencia geodésico corresponde a MAGNA-SIRGAS, adoptado mediante la Resolución 471 de 2020 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Para la elaboración de la cartografía requerida en los proyectos

mineros se recomienda utilizar la proyección MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12), lo que facilita la integración de la información con las bases de datos de las autoridades mineras y ambientales, así como la compatibilidad con los diferentes sistemas de información geográfica.

Los principales parámetros técnicos de esta proyección se presentan en la **Tabla 3-2**.



Tabla 3-2

Parámetros del sistema de referencia MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12).

Parámetros de la Proyección	
Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen (Latitud)	4° N
Origen (Longitud)	73° W
Falso Este	5.000.000
Falso Norte:	2.000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	0.9992
Sistema de Coordenadas Geográficas	GCS_MAGNA
Datum	D_MAGNA
Prime Meridian	Greenwich
Angular Unit	Degree

Nota. Adaptado de IGAC, Resolución, 471,2020.

El IGAC dispone de una herramienta oficial para la transformación y conversión de coordenadas entre los sistemas de referencia geodésicos y las proyecciones cartográficas adoptadas en Colombia. Esta herramienta permite realizar la migración de información geográfica generada en sistemas de referencia anteriores hacia MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12) (IGAC, Resolución 471, 2020). De manera que, contribuye a la estandarización y consistencia de la información geoespacial.

Su utilización resulta especialmente recomendable durante la estructuración de proyectos mineros que integran información proveniente de diferentes fuentes o elaborada bajo marcos de referencia distintos, ya que permite garantizar la correcta georeferenciación de los datos y su compatibilidad con los requerimientos de las autoridades mineras y ambientales.

La **Figura 3-3** presenta la herramienta oficial del IGAC para la transformación y conversión de coordenadas, la cual constituye un apoyo para la preparación y validación de la información cartográfica utilizada en el planeamiento minero.

Figura 3-3

Plataforma IGAC, conversión de Coordenadas

Nota. Puede ingresar en línea en la plataforma oficial: <https://origen.igac.gov.co/herramientas.html>



Plataforma ANNA Minería para la validación de información geográfica

Como complemento a las buenas prácticas para la gestión de la información geoespacial, se recomienda utilizar la plataforma **ANNA Minería**, administrada por la ANM, como herramienta de apoyo para la validación preliminar de coordenadas y la verificación de la ubicación de áreas mineras. Su utilización contribuye a identificar inconsistencias en la información geográfica antes de la elaboración y presentación de los instrumentos técnicos requeridos por la autoridad minera.

La plataforma permite ingresar información geográfica en los siguientes formatos:

- Coordenadas proyectadas, expresadas en metros bajo el sistema de referencia **MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12)** (por ejemplo: X = 5.020.202 m; Y = 2.197.795 m).
- Coordenadas geográficas en formato decimal (por ejemplo: Latitud 5.79014; Longitud -72.81728).
- Coordenadas geográficas en formato grados, minutos y segundos (por ejemplo: 5°47'22,34" N; 72°49'2,82" O).
- Buenas prácticas para la gestión de coordenadas

Con el fin de garantizar la calidad, consistencia e interoperabilidad de la información cartográfica, se recomienda:

1. Transformar las coordenadas generadas en sistemas de referencia anteriores mediante la herramienta oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
2. Utilizar como sistema oficial de referencia **MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12)**.
3. Verificar que las coordenadas proyectadas estén expresadas en metros.

4. Confirmar la correspondencia entre el sistema de referencia, las unidades de medida y la información representada en planos y bases cartográficas.
5. Identificar de manera explícita el sistema de referencia geodésico utilizado en todos los planos, mapas y productos cartográficos.
6. Entregar los productos cartográficos acompañados de sus respectivos archivos georreferenciados en formato editable, cuando ello sea requerido por la autoridad competente.

Errores que deben evitarse

- Utilizar Google Earth como fuente oficial para la obtención de coordenadas del proyecto.
- Asumir equivalencia entre los sistemas WGS84 y MAGNA-SIRGAS sin realizar la validación correspondiente.
- Combinar coordenadas geográficas (grados) y proyectadas (metros) dentro de un mismo plano o producto cartográfico.
- Omitir la identificación del sistema de referencia geodésico en la información cartográfica entregada.

3.3 Presentación de planos

La representación cartográfica constituye uno de los principales productos del planeamiento minero, al integrar y comunicar de manera gráfica la información geológica, topográfica, minera, ambiental y de infraestructura necesaria para la formulación y evaluación de los proyectos. La calidad y consistencia de los planos inciden directamente en la interpretación técnica del proyecto y en los procesos de evaluación adelantados por las autoridades competentes.

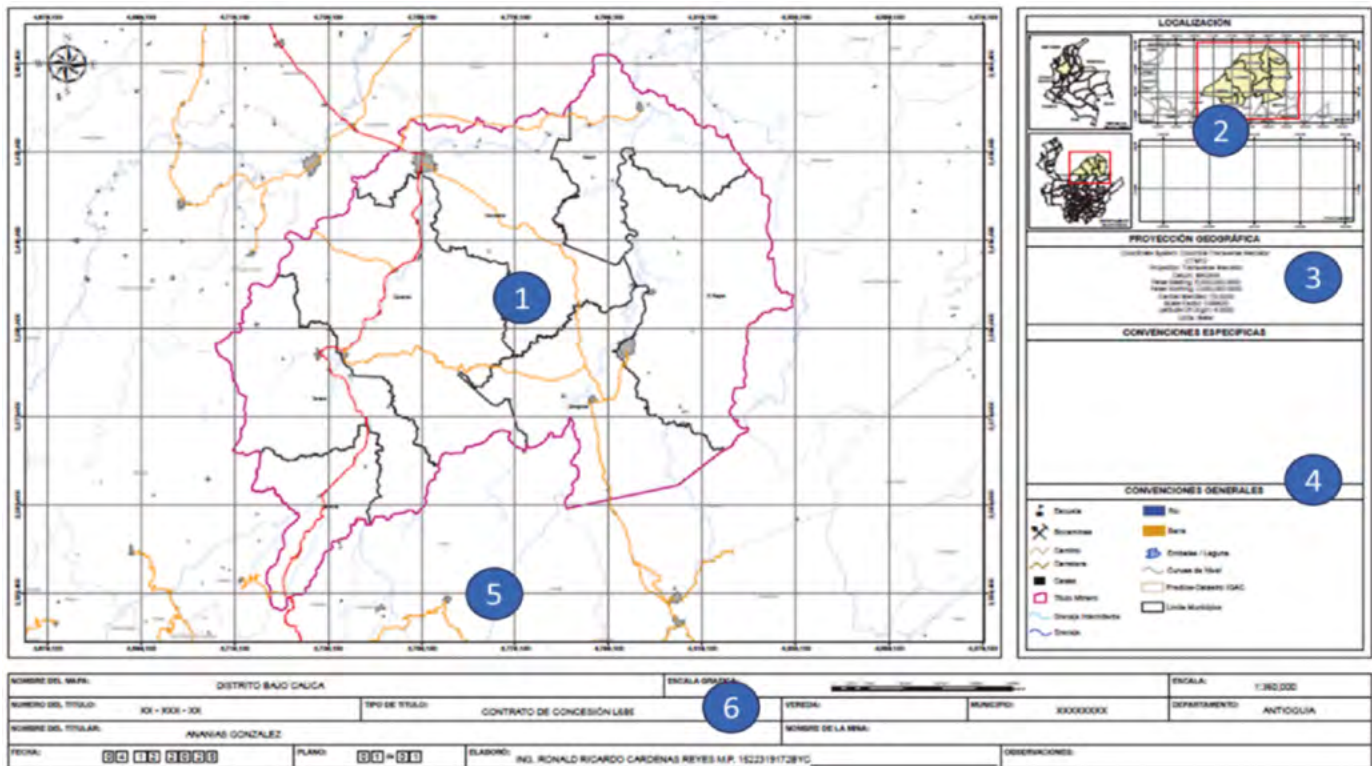


En Colombia, la elaboración y presentación de planos y mapas para títulos, solicitudes y demás trámites mineros deben ajustarse a lo establecido en la Resolución 40600 de 2015 del Ministerio de Minas y Energía, la cual adopta las especificaciones técnicas oficiales para la presentación de información cartográfica ante la autoridad minera.

La **Figura 3-4** presenta los elementos mínimos que deben incorporarse en el rótulo y en la estructura general de los planos utilizados en el planeamiento minero.

Figura 3-4.

Formato y rotulo de presentación de mapas



Componentes básicos del plano

■ Área de representación gráfica

Corresponde al espacio principal del plano donde se representa el polígono del proyecto minero y la información geográfica requerida para el análisis técnico. Debe incluir la cartografía base y los elementos temáticos correspondientes, utilizando una escala apropiada para el nivel de detalle del proyecto.

■ Localización

Presenta la ubicación general del proyecto dentro del contexto nacional, departamental y municipal, así como la localización específica del área minera, facilitando la identificación espacial del proyecto conforme a lo establecido en la Ley 685, 2001, art. 68.



▪ Sistema de referencia y proyección cartográfica

Identifica el sistema oficial de referencia geodésico utilizado en la elaboración del plano. La cartografía debe elaborarse utilizando MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12), indicando expresamente el sistema de coordenadas empleado (IGAC, Resolución 471, 2020).

▪ Convenciones cartográficas

Incluyen la simbología utilizada para representar los diferentes elementos contenidos en el plano. Deben diferenciarse las convenciones generales (hidrografía, vías, edificaciones, curvas de nivel, entre otras) de las convenciones temáticas propias del proyecto, tales como unidades geológicas, infraestructura minera, labores, recursos y reservas.

▪ Perfiles

Cuando las características del proyecto lo requieran, podrán incorporarse perfiles longitudinales o transversales que permitan representar la geometría del terreno, la disposición de las labores mineras o la continuidad de estructuras mineralizadas, facilitando la interpretación tridimensional del yacimiento.

▪ Rótulo

Contiene la información de identificación del plano, incluyendo el nombre del proyecto, título minero, ubicación, escala, sistema de referencia, fecha de elaboración, profesional responsable y demás datos requeridos por la normativa vigente.

Recomendaciones técnicas para la elaboración de planos

Elaborar la cartografía a partir de información obtenida mediante levantamientos topográficos o geoespaciales confiables, evitando representaciones basadas en estimaciones visuales.

Utilizar una escala acorde con la extensión del proyecto y el nivel de detalle requerido por el instrumento técnico correspondiente.

Representar únicamente la información exigida para el nivel de planeamiento y el trámite minero aplicable.

Garantizar la consistencia entre la cartografía superficial y la información topográfica o de labores subterráneas, especialmente en proyectos de explotación de oro de filón.

Mantener la correspondencia entre la información gráfica y los datos contenidos en memorias técnicas, bases de datos geográficas y demás documentos del proyecto.

3.4 Información geografía por etapa de planeamiento minero

La estructuración de la información geográfica debe responder a las necesidades de las diferentes etapas del planeamiento minero, proporcionando una base técnica que permita respaldar el diseño, la planificación y el seguimiento de la explotación. Con este propósito, la información cartográfica se organiza en cuatro componentes integrados, cuya relación se presenta en la **Figura 3-5**.

Figura 3-5.

Secuencia de Cartografía



La cartografía no es un elemento independiente, sino un eje transversal que articula estos componentes y permite representar espacialmente la delimitación del área, la caracterización del yacimiento, el diseño de explotación, el planeamiento y las medidas de manejo y cierre.



3.4.1 Cartografía topográfica

La cartografía topográfica constituye la base geométrica para el desarrollo del planeamiento minero, ya que proporciona la información necesaria para el diseño de la explotación, la estimación de volúmenes, la planificación de la infraestructura minera y el seguimiento de las actividades operacionales. En los proyectos de pequeña minería de materiales de construcción, este componente permite representar con precisión las características del terreno y constituye el soporte para la integración de la información geológica, ambiental y minera.

La **Tabla 3-3** presenta los elementos cartográficos mínimos que deben conformar el componente topográfico, relacionando cada producto con las decisiones técnicas que soporta durante las diferentes etapas del planeamiento minero.



Tabla 3-3

Elementos cartográficos del componente topográfico

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Mapa de delimitación definitiva del área	¿Cuál es el polígono real del área de explotación y qué restricciones pueden condicionarlo?	Definición del área operativa y verificación de exclusiones o superposiciones que afecten el proyecto	1:5.000 – 1:2.000 o más detallada	Polígono definitivo del área minera validado, con coordenadas oficiales y sin superposiciones críticas.
Topografía regional	¿Cuál es el contexto físico del proyecto dentro del territorio?	Evaluación de accesibilidad, drenaje regional y condicionantes fisiográficos	1:25.000 – 1:10.000	Contexto territorial del proyecto identificado, incluyendo vías, drenajes y rasgos fisiográficos relevantes.
Topografía local	¿Cómo se distribuyen los elementos naturales y operativos dentro del área minera?	Localización y planificación espacial de infraestructura, bocaminas y zonas de intervención	1:2.000 o más detallada	Base topográfica detallada que permite ubicar infraestructura minera y áreas operativas.
Topografía subterránea	¿Cómo se organizan espacialmente las labores mineras bajo superficie?	Planeamiento de labores de desarrollo, preparación y explotación	1:2.000 o más detallada	Representación de galerías, túneles, inclinados y labores activas que soporta el diseño minero.



3.4.1 Cartografía geológica

La cartografía geológica constituye el principal insumo para la caracterización del yacimiento y el conocimiento de las condiciones geológicas que controlan la distribución y comportamiento de los materiales de construcción. Su elaboración permite integrar, en un entorno georreferenciado, la información correspondiente a las unidades litológicas, estructuras geológicas, bancos de explotación y demás elementos relevantes para el planeamiento minero, garantizando la consistencia con el sistema oficial de referencia MAGNA-SIRGAS/ Origen Nacional (CTM12).

El nivel de detalle de la cartografía geológica depende de las características del área de estudio, de la complejidad geológica del yacimiento y de la etapa de desarrollo del proyecto. En consecuencia, la selección de la escala de levantamiento y representación debe responder a los objetivos técnicos del estudio y a los requerimientos establecidos por la autoridad minera.

La **Tabla 3-4** presenta los productos cartográficos recomendados para este componente.

Tabla 3-4

Productos cartográficos del componente geológico

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Mapa geotécnico	¿Cómo se distribuyen espacialmente las condiciones geomecánicas del macizo rocoso que controla la estabilidad de las labores subterráneas?	Definición de condiciones de estabilidad y selección preliminar del sistema de sostenimiento en galerías y frentes de explotación	1:5.000 – 1:1.000 o más detallada, con curvas de nivel cada 5 m a 1 m o menos	Zonificación geotécnica del macizo con ubicación de muestras, unidades geomecánicas, sectores de inestabilidad y criterios de sostenimiento.
Análisis de laboratorio	¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de las rocas que controlan el comportamiento del macizo?	Determinación de parámetros geomecánicos para diseño de sostenimiento, estabilidad de techos y estabilidad de pilares	Ensayos sobre muestras representativas de roca	Parámetros geomecánicos del macizo (resistencia, deformabilidad y comportamiento estructural) utilizados en el diseño geotécnico.
Mapa de dominios geotécnicos	¿Qué sectores del yacimiento presentan comportamientos geomecánicos diferenciados que pueden afectar la estabilidad de las labores?	Delimitación de dominios geotécnicos para ajustar el diseño de excavaciones, sostenimiento y control de riesgos	1:5.000 – 1:1.000 o más detallada, con curvas de nivel cada 5 m a 1 m o menos	Zonificación geomecánica del área minera con identificación de estructuras críticas, mecanismos potenciales de falla y nivel freático.
Perfiles longitudinales y transversales	¿Cómo se comporta el depósito en sección?	Diseño del método de explotación y secuencia de avance	1:10.000 – 1:5.000 (según alcance)	Perfiles coherentes con topografía, fallas y mineralizaciones
Geología Local de Detalle	¿Cuál es la geometría real del yacimiento en el área operativa?	Diseño minero detallado y control operativo	≥ 1:2.000	Integración de unidades, estructuras, puntos de control y datos de calidad



Buenas prácticas para la elaboración de la cartografía geológica

- Con el fin de garantizar la calidad y confiabilidad de la información geológica utilizada en el planeamiento minero, se recomienda:
- Utilizar imágenes satelitales de libre acceso como insumo complementario para la interpretación geológica regional y la planificación del trabajo de campo.
- Emplear modelos digitales de terreno (MDT) como apoyo para el análisis geomorfológico y estructural del área de estudio.
- Verificar en campo la información obtenida de fuentes secundarias antes de incorporarla a la cartografía geológica del proyecto.
- Sustentar la interpretación de la continuidad de las unidades litológicas y de las estructuras geológicas mediante información de campo y evidencia técnica suficiente.
- Georreferenciar todos los datos, observaciones y puntos de control utilizando el sistema oficial MAGNA-SIRGAS / Origen Nacional (CTM12).
- Entregar la información cartográfica en formatos editables e interoperables, tales como Shapefile (.shp), GeoPackage (.gpkg) o archivos DWG georreferenciados.
- Mantener la trazabilidad de las muestras y de la información de campo, asegurando su correspondencia con los puntos cartografiados.
- Garantizar la consistencia entre la cartografía geológica, la cartografía topográfica y los diseños desarrollados durante el planeamiento minero.
- Georreferenciar todos los puntos en sistema oficial MAGNA-SIRGAS / CTM12.
- Entregar archivos en formato editable (shp, geopackage o dwg georreferenciado).



- Mantener trazabilidad y custodia de muestras vinculadas a los puntos cartografiados.
- Garantizar coherencia entre cartografía geológica, topografía y diseño minero.

3.4.3 Cartografía hidrológica

La cartografía hidrológica proporciona la información necesaria para caracterizar las condiciones hidrológicas del área del proyecto y constituye un insumo fundamental para el diseño de obras de manejo de aguas, la gestión del recurso hídrico y la prevención de riesgos asociados al escurrimiento superficial. Su elaboración permite analizar el régimen de precipitación, la red de drenaje, las cuencas de aporte y los caudales, información indispensable para el dimensionamiento de estructuras como canales, cunetas, alcantarillas y sistemas de drenaje.

El nivel de detalle de la cartografía dependerá de las características del área de estudio, de la complejidad del sistema de drenaje y de la etapa de desarrollo del proyecto. La **Tabla 3-5** presenta los elementos cartográficos recomendados para el análisis hidrológico en proyectos de explotación de materiales de construcción.



Tabla 3-5

Elementos cartográficos del componente hidrológico

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Cuenca hidrográfica	¿En qué sistema hídrico se inserta el proyecto y cómo se comporta el drenaje regional?	Viabilidad territorial y evaluación de riesgos aguas arriba/abajo	1:25.000 – 1:5.000	Delimitación de cuenca, red de drenajes, control estructural y localización del proyecto
Sistema hidrológico local	¿Qué fuentes superficiales y subterráneas pueden verse afectadas por la operación?	Definición de restricciones operativas y medidas preventivas.	1:10.000 – 1:2.000	Inventario de puntos de agua, unidades hidrogeológicas y estructuras asociadas
Zonas de recarga y descargas	¿Dónde se infiltra, circula y emerge el agua dentro del área de influencia?	Ubicación segura de labores, botaderos y accesos.	1:10.000 – 1:5.000	Delimitación de zonas de recarga, tránsito y descarga
Interacción agua-geología	¿Cómo influyen fallas, pliegues y buzamientos en la circulación hídrica?	Diseño del método de explotación.	Escala coherente con modelo geológico	Integración estructural del modelo geológico con el sistema hídrico
Obras de manejo de aguas	¿Qué infraestructura se requiere para controlar escorrentía y drenaje minero?	Diseño operativo y control de riesgos.	1:2.000 o más detallad	Localización de canales, cunetas, sedimentadores y drenajes superficiales
Monitoreo y control	¿Cómo se verificará el comportamiento hídrico durante la operación?	Ajustes al planeamiento y gestión ambiental.	Escala operativa	Puntos de monitoreo y actualización cartográfica periódica

Buenas prácticas

Con el fin de garantizar la calidad de la información hidrológica utilizada durante el planeamiento minero, se recomienda:

- Utilizar series históricas de precipitación y caudales provenientes de estaciones oficiales, preferiblemente del IDEAM u otras fuentes técnicas reconocidas.
- Georreferenciar los cuerpos de agua, drenajes naturales, nacimientos y demás elementos hidrológicos relevantes.
- Integrar la cartografía hidrológica con el diseño de la explotación y de las obras de drenaje.
- Incluir tanto los drenajes permanentes como los temporales o intermitentes, cuando estos puedan influir en la operación minera.
- Documentar la metodología empleada para la delimitación de cuencas, el cálculo de pendientes y la estimación de caudales.
- Entregar la información cartográfica en formatos editables e interoperables para Sistemas de Información Geográfica (SIG).



3.4.4 Cartografía de muestreo

La cartografía asociada al muestreo permite representar espacialmente la ubicación de las muestras recolectadas durante los trabajos de campo y constituye la base para relacionar los resultados de laboratorio con las condiciones geológicas del yacimiento. Su adecuada elaboración garantiza la representatividad, trazabilidad y confiabilidad de la información utilizada para caracterizar la calidad de los materiales de construcción.

La **Tabla 3-6** presenta los principales elementos cartográficos asociados al proceso de muestreo y al registro de la información de laboratorio.

Tabla 3-6
 Elementos cartográficos para el muestreo y el análisis de laboratorio

Elemento Cartográfico	Escala y Recomendaciones
Mapa localización muestreo	Escala 1:5.000 o 1:1.000 o más detallada, con curvas de nivel cada 5m o 1m o menos. El mapa debe contener: 1. Puntos georreferenciados de toma de muestras 2. Fluorescencia de Rayos X 3. Difracción de Rayos X 4. Petrografía 5. Secciones Delgadas 6. Clasificación de la Roca 7. Granulometría

Con el propósito de garantizar la integridad y trazabilidad de las muestras desde su recolección hasta el análisis de laboratorio, la **Figura 3-6** presenta el protocolo general de muestreo y cadena de custodia.

Figura 3-6.
 Protocolo de muestreo y cadena de custodia.

PROTOCOLO DE MUESTREO

1

LOCALIZACIÓN

- Localización sitio de muestreo (X, Y, Z)
- Frentes de explotación activos
- Descripción litológica (Columna Local)

2

TOMA

- Tomar la muestra en frentes activos
- En superficie, tomar las muestras en afloramientos de carbón

3

CANAL

- Tomar la muestra en canal en todo su espesor sin intercalaciones
- Muestras de techo y base (geotecnia)
- Empaque de Muestra (bolsa o vinipel)
- Rotulo de muestra

4

EMPAQUE

- Empaque de Muestra (bolsa o vinipel)
- Rotulo de muestras
- Cadena de Custodia (Caja para muestras)

5

LOCALIZACIÓN

- Etiqueta de cada muestra
- Cada muestra debe tener identificador único.

6

TOMA

- Relación de Muestras enviadas al Laboratorio
- Cadena de Custodia (Relación)

7

CANAL

- Envío al Laboratorio
- Transporte Seguro
- Adecuada preservación
- Seleccionar Laboratorio Acreditado

8

EMPAQUE

- Entrega de Muestras con Relación
- Análisis de Laboratorio
- Entrega de Resultados

43



Buenas prácticas

1. Para asegurar la calidad y confiabilidad de la información obtenida durante el proceso de muestreo, se recomienda:
2. Definir el número de muestras de acuerdo con los objetivos del estudio, la variabilidad del yacimiento y el nivel de detalle requerido, evitando establecer una cantidad fija aplicable a todos los proyectos.
3. Proteger las muestras durante su manipulación y almacenamiento para evitar alteraciones o contaminación.
4. Garantizar que el volumen o peso de la muestra sea representativo del material evaluado, conforme al tipo de ensayo y a los protocolos de laboratorio aplicables.
5. Utilizar empaques adecuados e identificar cada muestra mediante un sistema de rotulación que asegure su trazabilidad.
6. Realizar un registro fotográfico de las muestras debidamente empacadas y rotuladas antes de su envío al laboratorio.
7. Mantener controles durante el transporte para preservar la integridad física de las muestras.
8. Documentar todas las etapas del proceso mediante los formatos correspondientes de cadena de custodia.

3.4.5 Cartografía geotécnica

La cartografía geotécnica permite caracterizar las condiciones del macizo rocoso y de los materiales presentes en el área del proyecto, proporcionando información fundamental para evaluar la estabilidad de taludes, frentes de explotación, accesos y demás obras mineras. Este componente integra observaciones de campo, resultados de ensayos geotécnicos y mediciones estructurales que respaldan el diseño seguro de la explotación.

El nivel de detalle de la cartografía dependerá de las características geológicas del yacimiento, del método de explotación y de la etapa de desarrollo del proyecto. La **Tabla 3-7** presenta los principales elementos cartográficos requeridos para la caracterización geotécnica y el análisis de estabilidad.

Tabla 3-7.

Elementos cartográficos del componente geotécnico

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Mapa geotécnico	¿Cómo se distribuyen espacialmente las condiciones geomecánicas del macizo rocoso o del suelo dentro del área minera?	Identificación de sectores con comportamiento geotécnico diferente que condicionan el diseño de la explotación.	1:5.000 – 1:1.000 o más detallada	Zonificación geotécnica del área minera con ubicación de muestras, unidades geomecánicas y zonas potencialmente inestables.
Análisis de laboratorio	¿Cuáles son las propiedades mecánicas y físicas de los materiales que controlan la estabilidad del macizo o del suelo?	Determinación de parámetros geomecánicos para el diseño de taludes, sostenimiento o excavaciones.	Ensayos de laboratorio sobre muestras representativas	Parámetros geomecánicos (UCS, σ_c , c , granulometría, límites de Atterberg, entre otros) para modelamiento y análisis de estabilidad.
Mapa de dominios geotécnicos	¿Qué sectores del yacimiento presentan comportamientos geomecánicos similares o condiciones de estabilidad diferenciadas?	Definición de dominios geotécnicos para ajustar el diseño de taludes, excavaciones o sostenimiento.	1:5.000 – 1:1.000 o más detallada	Zonificación de dominios geomecánicos con identificación de estructuras críticas, mecanismos potenciales de falla y nivel freático.



3.4.6 Evaluación y modelo geológico

El modelo geológico constituye uno de los principales insumos para el planeamiento minero, ya que integra la información obtenida durante la caracterización del yacimiento y proporciona la base técnica para la planificación estratégica, táctica y operativa de la explotación. Su elaboración permite comprender la distribución espacial del recurso mineral, reducir la incertidumbre geológica y respaldar la toma de decisiones durante las diferentes etapas del proyecto.

Para las explotaciones de materiales de construcción, el modelo geológico debe construirse a partir de la integración de información geológica, estructural, estratigráfica, geotécnica, hidrogeológica y de calidad del material, garantizando la consistencia entre los datos recopilados en campo, los resultados de laboratorio y la información cartográfica del proyecto.

El nivel de detalle del modelo dependerá de las características geológicas del yacimiento, de la escala del proyecto y de la información disponible durante cada etapa del planeamiento minero. En consecuencia, los parámetros utilizados para su elaboración deberán ajustarse al nivel de conocimiento requerido para sustentar el diseño y la planificación de la explotación.

La **Tabla 3-8** presenta los componentes mínimos recomendados para la construcción del modelo geológico en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 3-8

Modelo geológico para el planeamiento minero

Componente	Pregunta técnica clave	Decisión que soporta	Resultado estratégico
Topografía Local	¿Cuál es la geometría real del terreno y de las labores existentes?	Ubicación de accesos, frentes y control de avance	Base topográfica superficie
Estratigrafía	¿Cómo se correlacionan las capas y cuál es su continuidad lateral y vertical?	Delimitación de zonas explotables	Columnas estratigráficas y superficies modeladas de techo y piso
Geología Estructural	¿Qué estructuras condicionan la continuidad y estabilidad de las capas?	Definición del método de explotación y secuencia de avance	Contornos estructurales y bloques de explotación
Calidad	¿Cómo varía espacialmente la calidad de las capas?	Clasificación del recurso y proyección de ingresos	Modelo espacial de calidad y bloques clasificados
Geotecnia	¿Cuál es la condición del macizo rocoso?	Diseño de estabilidad de Taludes	Criterios de dimensionamiento y estabilidad
Hidrogeología	¿Cómo interactúa el agua con el material y taludes?	Diseño de drenajes y control de riesgos	Mapa hidrogeológico y esquema de manejo hídrico
Modelo Geométrico	¿Cuál es el volumen explotable técnica y económicamente viable?	Estimación de recursos, reservas y planeamiento productivo	Modelo 3D del yacimiento con cálculo de m ³



Con el fin de facilitar la interpretación de la geometría del yacimiento y la distribución espacial de los materiales de construcción, los modelos geológicos pueden representarse mediante herramientas de modelamiento tridimensional (3D), las cuales permiten integrar la información geológica, topográfica y de exploración en un entorno digital. Estas representaciones constituyen un apoyo para la evaluación del recurso mineral, la planificación de la explotación y el análisis de diferentes escenarios de diseño.

La **Figura 3-7** presenta un ejemplo de un modelo geológico tridimensional elaborado para un yacimiento de materiales de construcción, desarrollado mediante software especializado de modelamiento minero.

Figura 3-7

Ejemplo de visualización de un modelo geológico tridimensional (3D) para un yacimiento de caliza

Como se observa en la Figura 3-7, la visualización tridimensional facilita la comprensión de la geometría del yacimiento y de la distribución espacial de las unidades geológicas, proporcionando información que respalda el diseño de la explotación, la estimación del recurso mineral y la planificación de las diferentes etapas del proyecto.

3.4.7 Cartografía de minería

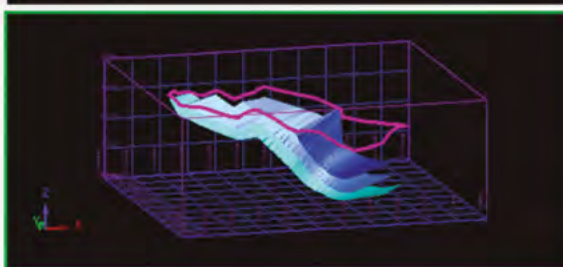
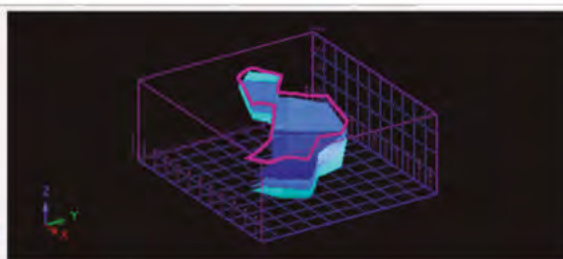
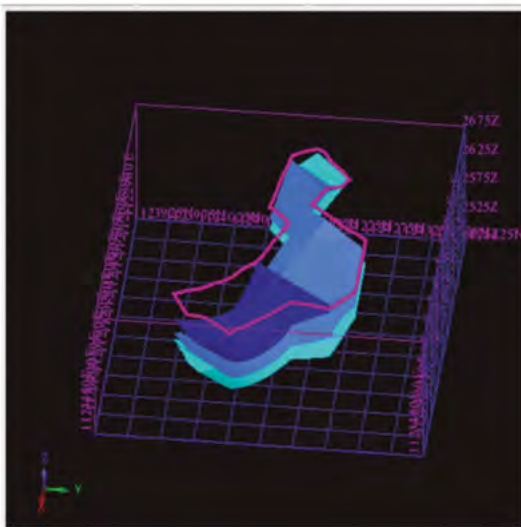
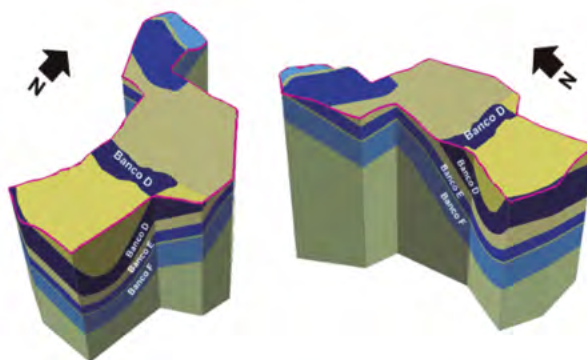
La cartografía minera integra la información geológica, topográfica y operacional necesaria para la planificación, ejecución y seguimiento de las actividades de explotación. Este componente constituye el vínculo entre el modelo geológico y el desarrollo de las labores mineras, permitiendo representar espacialmente el diseño de la explotación y verificar su coherencia con las condiciones del yacimiento y con los criterios técnicos establecidos durante el planeamiento minero.

REPORTE OBJETO MODELAMIENTO DE SOLIDO
Nombre de Capa : dtm_banco_d.dtm

Objeto: 1
Trisolación: 1
Validado = verdadero
Estado = abierto

Extensiones de Trisolación
X Mínimo: 1123161.294 X Máximo: 1123354.596
Y Mínimo: 1124020.778 Y Máximo: 1124266.850
Z Mínimo: 2529.425 Z Máximo: 2603.601

Áreasuperficial: 25140.60





Además de representar las labores proyectadas, la cartografía minera debe evidenciar la viabilidad técnica y operativa del proyecto, facilitar la evaluación de las condiciones de seguridad minera y respaldar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa vigente, particularmente en la **Ley 685 de 2001 (Código de Minas)**, el **Decreto 1073 de 2015** y los lineamientos técnicos expedidos por la **Agencia Nacional de Minería (ANM)**.

La **Tabla 3-9** presenta los principales elementos cartográficos que deben integrar este componente para apoyar el planeamiento minero en operaciones de pequeña escala dedicadas a la explotación de materiales de construcción.

Tabla 3-9

Elementos cartográficos del componente minero

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Mapa de delimitación definitiva del área	¿Cuál es el polígono real del área de explotación y qué restricciones lo condicionan?	Definición del área operativa y verificación de superposiciones o exclusiones mineras.	1:5.000 – 1:2.000	Área minera definitiva validada y coherente con el catastro minero.
Mapa de áreas seleccionadas	¿Qué sectores del título serán explotados y cuáles deben excluirse?	Priorización de bloques o áreas de explotación.	1:5.000 – 1:2.000	Zonas explotables delimitadas y áreas no intervenidas identificadas.
Plano de infraestructura actual	¿Cómo se distribuye la infraestructura minera existente?	Organización espacial de instalaciones y logística del proyecto.	1:5.000 – 1:2.000	Inventario georreferenciado de infraestructura y servicios del proyecto.
Plano de labores actuales	¿Dónde se localizan las labores activas de explotación?	Control y planificación de frentes de explotación.	1:2.000 – 1:1.000	Ubicación precisa de frentes, botaderos y obras asociadas.
Secuenciamiento del proyecto	¿Cómo avanzará la explotación en el tiempo?	Planeamiento del diseño minero y programación de avances.	1:2.000 – 1:1.000	Secuencia de explotación definida con proyección de avances anuales.
Actividades principales de la operación minera	¿Qué sistemas operativos soportan la explotación?	Planificación del transporte, drenaje y seguridad minera.	1:2.000 – 1:1.000	Sistemas operativos integrados para transporte, drenaje y seguridad.
Servidumbre minera	¿Qué predios o áreas externas son necesarias para el desarrollo del proyecto?	Gestión de servidumbres y compatibilidad con propiedad del suelo.	1:2.000 – 1:1.000	Identificación de predios y obras dentro de la servidumbre minera.
Ordenamiento territorial	¿El proyecto es compatible con los instrumentos de ordenamiento del territorio?	Evaluación de compatibilidad con POT, EOT o PBOT.	1:2.000 – 1:1.000	Proyecto alineado con determinantes territoriales y usos del suelo.
Manejo y disposición de estériles	¿Dónde se dispondrán los materiales estériles y cómo se controlará su estabilidad?	Diseño de botaderos, estabilidad geotécnica y control ambiental.	1:2.000 – 1:1.000	Botaderos diseñados con condiciones de estabilidad y manejo ambiental.
Beneficio y/o transformación de minerales	¿Dónde se ubica la infraestructura de beneficio del mineral?	Planeamiento de instalaciones de procesamiento	1:2.000 – 1:1.000	Planta de beneficio localizada e integrada al proyecto.



Recuperación geomorfológica y paisajística	¿Cómo se restaurarán las áreas intervenidas durante la operación?	Planeamiento de recuperación progresiva del terreno	1:2.000 – 1:1.000	Zonas de restauración definidas e integradas al ciclo minero.
Plan de cierre y abandono	¿Cómo se gestionará el cierre técnico y ambiental del proyecto?	Planificación del desmantelamiento y rehabilitación del área	1:2.000 – 1:1.000	Estrategia de cierre estructurada con medidas de restauración y control.

Buenas prácticas

Con el fin de garantizar la calidad, actualización y utilidad de la cartografía minera durante las diferentes etapas del planeamiento, se recomienda:

- Diferenciar claramente la cartografía correspondiente a las condiciones actuales de aquella que representa las labores proyectadas, utilizando convenciones y simbología que faciliten su interpretación.
- Registrar la fecha del levantamiento de información y de cada actualización cartográfica, garantizando la trazabilidad de los datos.
- Sustentar los diseños mineros en información obtenida y verificada en campo, evitando el uso de esquemas genéricos que no reflejen las condiciones reales del yacimiento.
- Diferenciar la cartografía correspondiente al planeamiento de corto, mediano y largo plazo, de acuerdo con el horizonte de planificación del proyecto y su vida útil.
- Identificar los riesgos asociados a las labores mineras e incorporar, cuando corresponda, las medidas de prevención, mitigación o control definidas para cada uno de ellos.
- Verificar la existencia de superposiciones o restricciones mediante la consulta de la plataforma ANNA Minería y de las demás herramientas oficiales disponibles.
- Contrastar la información del proyecto con los instrumentos de ordenamiento territorial vigen-

tes (POT, PBOT o EOT), verificando su compatibilidad con los usos del suelo y las determinantes aplicables.

- Actualizar periódicamente la cartografía minera cuando se presenten modificaciones en el diseño de la explotación, avances significativos de las labores o cambios en las condiciones del proyecto.

3.4.8 Cartografía ambiental

La cartografía ambiental constituye un componente fundamental del planeamiento minero, ya que permite identificar las características ambientales del área de influencia del proyecto, evaluar las posibles interacciones entre la actividad minera y el entorno, y respaldar la formulación de medidas de manejo orientadas a la prevención, mitigación, corrección y compensación de impactos ambientales. En los proyectos desarrollados bajo las diferentes figuras de formalización minera previstas en la Ley 685 de 2001, la Ley 2250 de 2022 y el Decreto 977 de 2024, la información geográfica ambiental debe integrarse desde las etapas iniciales del planeamiento, de manera articulada con los componentes geológico, minero y financiero. Esta integración facilita la toma de decisiones y contribuye al desarrollo de operaciones técnicamente viables y ambientalmente sostenibles.

La **Tabla 3-10** presenta los principales elementos cartográficos recomendados para la caracterización ambiental de proyectos de pequeña minería de materiales de construcción desarrollados bajo figuras de formalización.



Tabla 3-10

Elementos cartográficos del componente ambiental

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Ubicación de la figura minera	¿Dónde se localiza el título y cuál es su contexto territorial?	Viabilidad territorial y coherencia administrativa	1:25.000 – 1:5.000 (o más detallada según alcance)	Localización clara del título frente a límites municipales, vías y centros poblados
Mapa de restricciones	¿Qué determinantes ambientales y territoriales condicionan el proyecto?	Definición de áreas viables y exclusiones	1:25.000 – 1:5.000	Superposición del título con SINAP, páramos, reservas, suelos protegidos y demás restricciones
Infraestructura y labores mineras	¿Cómo se insertan las obras del proyecto dentro del territorio?	Ordenamiento espacial de la operación	1:5.000 – 1:2.000	Plano integrado de bocaminas, accesos, campamentos y áreas operativas
Mapa hidrogeológico	¿Cómo interactúa el proyecto con el sistema hídrico local?	Gestión de riesgo hídrico y medidas preventivas	1:5.000 – 1:2.000	Delimitación de microcuencas, red hídrica y puntos de agua relevantes
Geomorfología	¿Qué formas del relieve condicionan estabilidad y diseño?	Evaluación de susceptibilidad y localización de obras	Escala coherente con cartografía geológica ($\geq 1:5.000$)	Zonificación geomorfológica integrada al modelo geológico
Cobertura y uso del suelo	¿Qué áreas deben conservarse, intervenir o restaurarse?	Planeamiento ambiental y restauración progresiva	1:5.000 – 1:2.000	Clasificación de coberturas, usos actuales y áreas de intervención controlada

Buenas prácticas

Con el fin de fortalecer la calidad y confiabilidad de la cartografía ambiental utilizada durante el planeamiento minero, se recomienda:

1. Delimitar y representar cartográficamente las áreas sujetas a restricciones, condicionamientos o exclusiones para el desarrollo de actividades mineras, de conformidad con la normativa vigente.
2. Utilizar información proveniente de fuentes oficiales, tales como la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Parques Nacionales Naturales de Colombia, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y demás entidades competentes.
3. Registrar la fecha de consulta o descarga de la información utilizada, con el fin de garantizar su trazabilidad y actualización.
4. Incorporar un análisis de superposición espacial que identifique las áreas de coincidencia con determinantes ambientales, indicando la superficie afectada (ha) y el porcentaje de superposición.
5. Cuando se identifiquen superposiciones con áreas sujetas a restricciones o condicionamientos, evaluar sus implicaciones técnicas, ambientales y jurídicas, e incorporar las medidas de manejo o las limitaciones aplicables al proyecto.
6. Para la representación de coberturas y usos del suelo, utilizar la metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, o la metodología oficial vigente que la sustituya.
7. Verificar y complementar la información cartográfica mediante imágenes satelitales recientes, ortofotografías u otras fuentes de información espacial disponibles.



Los elementos cartográficos descritos en este apartado constituyen un referente técnico para la elaboración de los planos ambientales del proyecto. No obstante, las autoridades ambientales competentes podrán requerir información adicional, de acuerdo con las características del proyecto y los instrumentos ambientales aplicables.

En los procesos de formalización minera, la información geográfica deberá presentarse conforme a los requisitos establecidos por la autoridad competente y a la normativa vigente aplicable en cada caso.

3.5 Entrega de la información conforme al Modelo de Datos Geográficos (MDG)

Cuando sea aplicable, la información geográfica del proyecto deberá entregarse conforme al **Modelo de Datos Geográficos (MDG)** adoptado por la Agencia Nacional de Minería (ANM), utilizando bases de datos geográficas (**Geodatabase – GDB**)

o archivos **Shapefile (.shp)**, de acuerdo con los lineamientos técnicos vigentes.

La Geodatabase (GDB) constituye el formato recomendado para organizar, almacenar y administrar la información geográfica del proyecto, permitiendo integrar de manera estructurada las diferentes capas temáticas utilizadas durante el planeamiento minero. Su contenido deberá diligenciarse de acuerdo con la modalidad del título minero, el mecanismo de formalización y los requerimientos definidos por la ANM.

Las capas geográficas exigidas podrán variar según el tipo de mineral, la modalidad de explotación y los instrumentos técnicos requeridos para cada proyecto. La **Figura 3-8** presenta un ejemplo de la estructura de capas geográficas utilizada por la Agencia Nacional de Minería para la organización de la información espacial.

Figura 3-8

Ejemplo de estructura de capas geográficas conforme al Modelo de Datos Geográficos (MDG)

NOMBRE OBJETO	PTO	PTI (ANUAL)	PTI (5 AÑOS)	PTI (LOM)	PTOC	ILME	PTE
DESMANTELAMIENTO_PG		1					
CORTE_CIERREABANDONO_LN							
ESTABILIDAD_FISICA_PG		1					3.5
ESTABILIDAD_QUIMICA_PG		1					3.5
MANEJO_CONTROLAGUAS_LN							3.5
MANEJO_CONTROLAGUAS_PG							3.5
MANEJO_CONTROLAGUAS_PT							3.5
RECU_GEOMORFO_PAISAJ_PG							
USO_POSTSUELO_PG		1					3.5

Nota: Tomado del Diccionario de Datos del Modelo de Datos Geográfico V2 ANM (2021)

	Condiciona
	Opcional
	Obligatorio



Buenas prácticas

Con el propósito de garantizar la integridad, consistencia y trazabilidad de la información geográfica entregada a la ANM, se recomienda:

Utilizar la versión vigente del Modelo de Datos Geográficos (MDG) publicada por la ANM para la estructuración de la Geodatabase (GDB).

Justificar técnicamente, mediante documento escrito, la ausencia de aquellas capas geográficas cuya generación no sea aplicable a las características del proyecto o a la modalidad del título minero.

Evitar la entrega de capas geográficas vacías o incompletas sin la correspondiente justificación técnica.

Incorporar metadatos completos para cada capa geográfica, incluyendo como mínimo el origen de la información, fecha de elaboración, sistema de

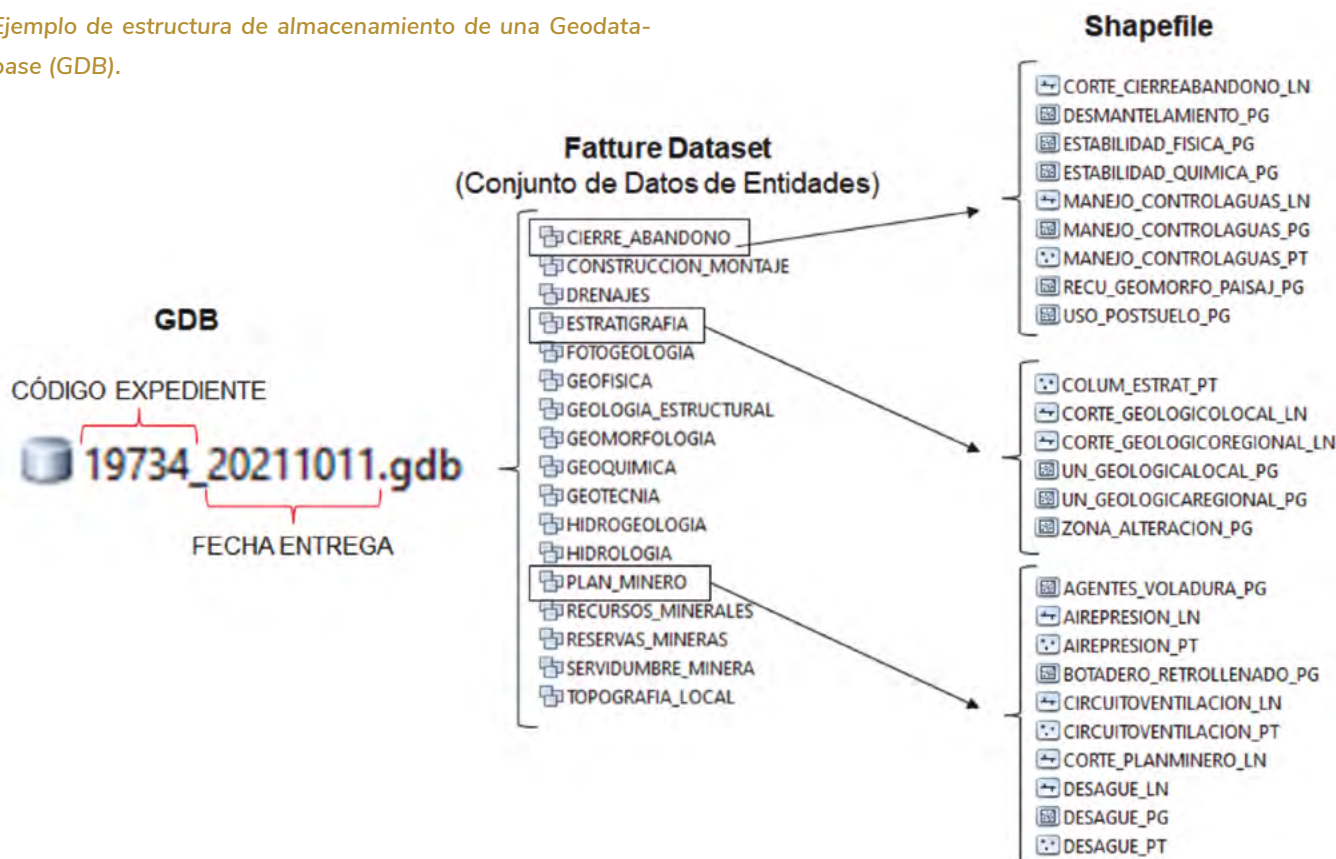
referencia, metodología de obtención, responsable de su generación y nivel de actualización.

Para facilitar la organización, identificación y trazabilidad de la información geográfica, se recomienda nombrar la Geodatabase (GDB) utilizando el código del expediente minero y la fecha de entrega, siguiendo el formato establecido por la Agencia Nacional de Minería o, en su defecto, el definido por el proyecto.

La **Figura 3-9** presenta un ejemplo de la estructura de almacenamiento de una Geodatabase (GDB), organizada conforme a las buenas prácticas para la gestión de la información geográfica del proyecto.

Figura 3-9

Ejemplo de estructura de almacenamiento de una Geodatabase (GDB).





3.6 Entrega de información al Banco de Información Minera (BIM)

Una vez aprobado el instrumento técnico correspondiente, la información geológica generada durante las actividades de exploración y evaluación del yacimiento deberá suministrarse al Banco de Información Minera (BIM), administrado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), cuando así lo establezca la normativa vigente y los requerimientos de la autoridad minera.

La entrega de la información deberá realizarse conforme a los procedimientos, formatos y lineamientos definidos por el Servicio Geológico Colombiano, incluyendo la Lista de Entrega de Información (LEI) y el Manual de Suministro de Información Geológica (MSE), o aquellos instrumentos que los modifiquen o sustituyan.

La gestión adecuada de esta información contribuye a la consolidación del conocimiento geológico del país, facilita la administración del recurso mineral y fortalece los procesos de seguimiento y control por parte de las autoridades competentes.

La aplicación de este proceso dependerá del instrumento técnico aprobado y de las obligaciones establecidas en la normativa vigente. De manera general, se consideran los siguientes escenarios:

1. Títulos mineros con Programa de Trabajos y Obras (PTO) aprobado bajo el Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales (ECRR–CRIRSCO): la reconciliación deberá realizarse conforme a los requisitos establecidos para dicho estándar y a las disposiciones emitidas por la ANM.
2. Proyectos desarrollados bajo figuras de formalización minera con instrumento técnico aprobado: mientras permanezcan sujetos al instrumento técnico correspondiente, deberán atender las obligaciones definidas para dicho régimen. En caso de que la normativa exija posteriormente la adopción de un Programa de Trabajos y Obras (PTO) bajo el estándar ECRR–CRIRSCO, las obligaciones relacionadas con la reconciliación se aplicarán una vez dicho instrumento haya sido aprobado por la autoridad minera competente.

En consecuencia, la obligación de efectuar la reconciliación está asociada al instrumento técnico vigente y al marco normativo aplicable, más que a la simple existencia de un título minero.

La **Figura 3-10** presenta un ejemplo del formulario utilizado para la reconciliación de recursos y reservas minerales, herramienta empleada para el seguimiento técnico y la verificación de la información reportada conforme a los lineamientos establecidos por la autoridad minera.

3.7 Reconciliación de recursos y reservas minerales

La reconciliación constituye un proceso técnico mediante el cual se comparan las estimaciones de recursos y reservas minerales con los resultados obtenidos durante la explotación, permitiendo evaluar la confiabilidad del modelo geológico, verificar el desempeño del planeamiento minero y actualizar la información técnica del proyecto cuando sea necesario.



Figura 3-10

Formulario de reconciliación de recursos minerales

 AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA Recursos y Reservas Mineras		FORMULARIO DE RECONCILIACIÓN DE RECURSOS MINERALES				 AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA		
R1	Periodo Reportado		Ciclo estimado	Desde	0/01/1900	Hasta	0/01/1900	
INFORMACIÓN GENERAL								
R2	Expediente Minero				R3	Etapas		
R4	Fecha inscripción		R5	Fecha terminación				
R6	Titular							
R7	Modalidad contratación		R8	Área otorgada (ha)		R9	Nombre del proyecto	
R10	Ubicación	R11	Departamento 1	R12	Municipio 1	R13	Departamento 2	
R14				R15	Municipio 2			
R15	Mineral (s) concesionado (s)							
DATOS GENERALES DE LA ESTIMACIÓN BASE / RECONCILIACIÓN								
R16	Documento Técnico aprobado / reconciliación		R17	No. Aprobación		R18	Fecha aprobación documento técnico	
R19	Estándar CRIRSCO		R20	Fecha de corte de datos de la estimación		R21	Fecha aprobación última reconciliación	
GRUPO MINERAL, MINERALES Y VARIABLES DE CALIDAD ASOCIADAS								
R22	Grupo mineral	Polimetálicos						
R23	Mineral concesión (aprobado en DT)	R24	Mineral aprobado 1	hierro	R25	Mineral aprobado 2	R26	Mineral aprobado 3
R27				R28	Mineral aprobado 4			
R29	Variables de calidad / tenor	R30	Variable 1	R31	Variable 2	R32	Variable 3	
R33	Base del reporte ("Carbones)	R34	Variable 4					
ESTIMACIÓN DE RECURSOS BASE / RECONCILIACIÓN								
R35	Tipo dominio	Recursos Medidos			R36	Recursos Indicados		
R37	Dominio de estimación				R38	Recursos Inferidos		
R39	Observaciones							
R40	Toneladas	300.00						

Como buena práctica técnica, se recomienda:

1. Aunque el Instrumento Técnico no obligue inmediatamente a reconciliación bajo estándar CRIRSCO, se recomienda control de producción mensual, actualización de avance de labores mineras y control de volumen extraído.
2. Una vez aprobado el instrumento técnico bajo el estándar (CRIRSCO), utilizar el “instructivo para presentar la actualización o reconciliación anual de recursos y reservas minerales agencia nacional de minería v2 Bogotá 2023”. <https://www.anm.gov.co/diligenciamiento-de-reconciliacion-de-recursos-y-reservas>



4. CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCION GENERAL DE LAS OPERACIONES MINERAS

Una vez caracterizadas las condiciones geológicas del yacimiento y consolidada la información técnica que soporta el planeamiento minero, es necesario describir las principales características de la operación minera. Esta información permite comprender cómo se desarrolla la explotación, identificar sus componentes principales y verificar que las actividades proyectadas sean coherentes con las condiciones del yacimiento y con el instrumento técnico aprobado.



4.1 Componentes de la caracterización de la operación minera

La caracterización de la operación minera integra la información necesaria para describir de manera sistemática los aspectos que intervienen en el desarrollo del proyecto, incluyendo los componentes geográficos, cartográficos, operativos, ambientales, de seguridad y socioeconómicos. Su propósito es proporcionar una visión integral de la operación y servir como soporte para la planificación, la eje-

cución, el seguimiento y la toma de decisiones durante las diferentes etapas del ciclo minero.

La documentación organizada de estos componentes facilita la evaluación técnica del proyecto, favorece la coordinación entre las diferentes actividades de la operación y contribuye al cumplimiento de los requisitos establecidos por la autoridad minera y ambiental, promoviendo una explotación técnicamente viable, segura y ambientalmente responsable.

Tabla 4-1
Esquema general de la caracterización de la operación minera

Socioeconómicos	Las explotaciones de materiales de construcción en pequeña minería suelen desarrollarse bajo esquemas artesanales o de baja mecanización, especialmente en la extracción de arenas, gravas, calizas y arcillas. Estas actividades tienen una alta relevancia local por su aporte a la economía y al abastecimiento de la industria de la construcción. La mano de obra vinculada es, en su mayoría, no calificada, proveniente de zonas rurales con limitadas oportunidades laborales y bajos niveles de escolaridad. Para muchas familias, la minería representa una fuente de ingreso esencial y una alternativa para mejorar sus condiciones económicas. Estas explotaciones generan empleo directo e indirecto y dinamizan la economía local y regional mediante el suministro constante de materiales para obras civiles, infraestructura y construcción. En procesos de formalización, las labores mineras suelen encontrarse activas, por lo que el enfoque principal se orienta a regularizar la operación en los aspectos ambientales, legales y técnicos, garantizando que la actividad se desarrolle de manera segura, ordenada y conforme a la normativa vigente.
Geográfica y cartográfica	Las operaciones informales de Materiales de Construcción suelen ubicarse en zonas cercanas a los puntos de comercialización o de transformación industrial, debido al bajo valor unitario del material y a la necesidad de movilizar grandes volúmenes para obtener rentabilidad. Esta localización responde a criterios de accesibilidad, reducción de costos de transporte y cercanía a vías principales o centros de consumo.



Clasificación del Proyecto	Con base a la producción de Materiales de Construcción (m³/año):								
	<table><tr><td>Pequeña</td><td>Mediana</td><td>Gran Minería</td></tr><tr><td>Hasta 30.000</td><td>>30.000 hasta 350.000</td><td>>350.000</td></tr></table>	Pequeña	Mediana	Gran Minería	Hasta 30.000	>30.000 hasta 350.000	>350.000		
	Pequeña	Mediana	Gran Minería						
	Hasta 30.000	>30.000 hasta 350.000	>350.000						
Con base al número de Hectáreas (ha):									
<table><tr><td>Pequeña</td><td>Mediana</td><td>Gran Minería</td></tr><tr><td>Pequeña</td><td>Mediana</td><td>Gran Minería</td></tr><tr><td><=150 ha</td><td>>150<5000 ha</td><td>>5000<10000 ha</td></tr></table>	Pequeña	Mediana	Gran Minería	Pequeña	Mediana	Gran Minería	<=150 ha	>150<5000 ha	>5000<10000 ha
Pequeña	Mediana	Gran Minería							
Pequeña	Mediana	Gran Minería							
<=150 ha	>150<5000 ha	>5000<10000 ha							
Operaciones Mineras	Las explotaciones de Materiales de Construcción se desarrollan principalmente a cielo abierto (canteras, bancos y pozos). Las operaciones mineras comprenden un conjunto de labores secuenciales que permiten extraer, movilizar y acondicionar el material útil. Las principales labores son: 1. Preparación del área. Remoción de la capa vegetal (descapote) y adecuación inicial del terreno para habilitar los frentes de trabajo. 2. Arranque. Extracción del estéril y del material útil en tamaños adecuados para su posterior cargue y transporte, utilizando métodos mecánicos acordes con la capacidad operativa. 3. Cargue. Transferencia del material hacia el sistema de transporte. 4. Cíclico: cargadores frontales, retroexcavadoras. 5. Continuo: cangilones, bandas transportadoras. 6. Transporte: Traslado del material útil y del estéril mediante volquetas u otros equipos hacia zonas de disposición, acopio o beneficio. 7. Acopio o almacenamiento: Ubicación del material en patios de acopio mediante la conformación de pilas o en silos, garantizando orden y control de segregación. 8. Beneficio: Procesos de trituración, molienda, homogenización y lavado, según el tipo de material. El producto final debe cumplir las especificaciones requeridas por la industria, especialmente la de construcción.								
Condiciones de Seguridad y Gestión Ambiental	Las explotaciones de Materiales de Construcción presentan riesgos que deben ser identificados y controlados para garantizar la seguridad del personal y la protección del entorno. Entre los principales riesgos de seguridad se encuentran los derrumbes, inundaciones, y los accidentes con maquinaria, equipos y voladuras, propios de las labores a cielo abierto y aluviales. En cuanto a los impactos ambientales, estas operaciones pueden generar alteración paisajística, emisión de polvo y ruido, modificación de cauces y vegetación, así como contaminación de ríos y quebradas por manejo inadecuado de materiales y aguas.								

La caracterización de la operación minera debe integrar, como mínimo, los elementos presentados en la **Tabla 4-2**.



Tabla 4-2

Componentes básicos de la caracterización de la operación minera

Componente	Descripción	Finalidad
Tipo de explotación	Identificación de la modalidad de explotación (cantera, depósito aluvial, préstamo, entre otros).	Definir las condiciones generales del proyecto y orientar el diseño minero.
Material explotado	Caracterización general del material objeto de aprovechamiento (arenas, gravas, recibos, roca para trituración, entre otros).	Determinar el comportamiento geológico y los requerimientos técnicos para su explotación.
Escala de la operación	Definición de la pequeña minería conforme a la normatividad vigente.	Ajustar el nivel de detalle de los estudios y del planeamiento minero.
Método de explotación esperado	Selección preliminar del sistema de explotación de acuerdo con las características del depósito.	Orientar el diseño de bancos, secuencia de explotación y operación minera.
Infraestructura básica	Identificación de accesos, vías internas, zonas de acopio, drenajes, patios de almacenamiento y demás obras requeridas.	Verificar la viabilidad operativa y logística del proyecto.
Etapas de la operación	Descripción general de las actividades desde la preparación hasta el cierre de la explotación.	Organizar el desarrollo progresivo del proyecto.

4.1.1 Etapas generales de la operación minera

El desarrollo de un proyecto de pequeña minería de materiales de construcción comprende un conjunto de etapas técnicas interrelacionadas que permiten caracterizar el yacimiento, planificar la explotación y aprovechar el recurso mineral de manera eficiente y sostenible. Aunque su alcance puede variar según las características del depósito, el método de explotación y la escala del proyecto, de manera general incluye las siguientes etapas:

- Planeación y recopilación de información existente.
- Evaluación geológica regional.
- Evaluación geológica local.
- Caracterización del depósito.
- Exploración y muestreo.
- Construcción del modelo geológico.
- Estimación preliminar de recursos minerales.
- Selección del método de explotación.
- Diseño y planeamiento minero.
- Explotación y seguimiento operativo.
- Cierre y recuperación de las áreas intervenidas.

Estas etapas conforman un proceso continuo, en el que la información obtenida durante la explotación, el desarrollo de la explotación y el seguimiento operativo retroalimenta permanentemente el conocimiento del yacimiento, permitiendo ajustar el modelo geológico, optimizar el planeamiento minero y mejorar la toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto.

4.1.2 Relación con el modelo geológico y la estimación de recursos

El modelo geológico constituye el principal soporte técnico para la planificación y desarrollo de la operación minera, ya que integra la información obtenida durante la caracterización del yacimiento y proporciona una representación de la geometría, continuidad, calidad y distribución espacial del recurso mineral.

La información contenida en el modelo permite definir las áreas prioritarias para la explotación, seleccionar el método de explotación más adecuado,



establecer la secuencia de avance de los frentes de trabajo y optimizar el aprovechamiento del recurso, reduciendo la incertidumbre durante la ejecución de las labores mineras.

Asimismo, el modelo geológico sirve como base para la estimación de recursos minerales, el diseño de mina y la actualización periódica del planeamiento minero, incorporando la información obtenida durante el desarrollo de la explotación y el seguimiento técnico del proyecto.

En consecuencia, el modelo geológico no constituye un producto estático, sino una herramienta dinámica que debe actualizarse conforme se obtiene nueva información del yacimiento, fortaleciendo el proceso de toma de decisiones y mejorando la planificación de la operación minera durante todo el ciclo de vida del proyecto.

4.2 Evaluación geológica y modelamiento

La evaluación geológica constituye el proceso mediante el cual se integra la información recopilada durante las diferentes etapas de exploración para comprender las características del yacimiento y sustentar el planeamiento de la explotación. Este proceso comprende el análisis de la geología regional y local, la caracterización del depósito, la interpretación de la información obtenida en campo y la construcción del modelo geológico que soportará la estimación de recursos minerales y el diseño de mina.

4.2.1 Geología regional

La geología regional proporciona el contexto geológico necesario para comprender el origen, distribución y características de los materiales de construcción presentes en el área del proyecto. Mediante el análisis integrado de la litología, el marco estructural, la geomorfología y la evolución geológica, es posible identificar las condicio-

nes que favorecen la formación de los depósitos y orientar las actividades de exploración hacia los sectores con mayor potencial.

En proyectos de pequeña minería, la geología regional tiene como finalidad apoyar la selección de las áreas de interés, reducir la incertidumbre geológica y optimizar la planificación de las actividades de exploración, utilizando información oficial disponible y su validación mediante reconocimiento de campo.

La **Figura 4-1** presenta un esquema metodológico para el desarrollo de la evaluación geológica regional como apoyo a la caracterización del yacimiento.

Figura 4-1

Proceso metodológico para la evaluación geológica regional.





4.2.1.1 Alcance en proyectos de pequeña minería

En proyectos de pequeña minería de materiales de construcción, la evaluación geológica regional debe desarrollarse con un nivel de detalle acorde con la escala y complejidad del proyecto. Su propósito es proporcionar el contexto geológico necesario para orientar las actividades de exploración, identificar sectores con mayor potencial y reducir la incertidumbre durante las etapas iniciales del planeamiento minero.

Como mínimo, la evaluación geológica regional deberá:

- Basarse en la cartografía geológica oficial disponible, elaborada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), preferiblemente a escala 1:25.000 o la de mayor detalle disponible para el área de estudio.
- Identificar las unidades litológicas predominantes y su distribución espacial.
- Reconocer las principales estructuras geológicas, tales como fallas, pliegues y lineamientos, cuando estas tengan influencia sobre la conformación del depósito.

- Identificar las geoformas y rasgos geomorfológicos asociados a la ocurrencia de materiales de construcción.
- Analizar la relación entre las características geológicas regionales y el potencial del área para el aprovechamiento del recurso mineral.

En este tipo de proyectos no se requiere la elaboración de modelamientos estructurales complejos ni de análisis geológicos especializados, salvo que las características particulares del yacimiento o los requerimientos de la autoridad competente así lo justifiquen.

La **Tabla 4-3** presenta las principales fuentes oficiales de información recomendadas para el desarrollo de la evaluación geológica regional y la caracterización del área de estudio.

Tabla 4-3

Fuentes oficiales recomendadas

Entidad	Información recomendada
Servicio Geológico Colombiano (SGC)	Cartografía geológica oficial, mapas geológicos, memorias explicativas y demás información geocientífica disponible.
Agencia Nacional de Minería (ANM)	Catastro Minero Colombiano e información geoespacial relacionada con títulos y áreas mineras.
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)	Cartografía básica, modelos digitales de elevación y demás información geográfica oficial.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	Red hidrográfica, información hidrológica y variables ambientales de apoyo al análisis territorial.



4.2.1.2 Componentes de la geología regional

comprender el contexto geológico del área de estudio y establecer las condiciones que favorecen la ocurrencia de materiales de construcción. El análisis conjunto de estos elementos constituye la base para la caracterización inicial del yacimiento, la priorización de áreas con mayor potencial y la planificación de las actividades de exploración.

La **Tabla 4-4** presenta los principales componentes que deben considerarse durante la evaluación geológica regional en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 4-4

Componentes de la evaluación geológica regional

Factor regional	Unidad / Elemento	Proceso asociado	Tipo de material esperado	Nivel de homogeneidad / calidad	Implicación técnica en el depósito
Litología regional	Rocas ígneas	Meteorización mecánica	Gravas angulosas	Alta	Buen comportamiento mecánico; potencial alto como material estructural
	Rocas sedimentarias consolidadas	Retrabajo fluvial	Arenas y gravas	Media – Alta	Material apto para agregados; requiere control granulométrico
	Rocas metamórficas	Fracturación y coluvionamiento	Material heterométrico	Variable	Posible presencia de finos; requiere caracterización detallada
	Depósitos aluviales antiguos	Reprocesamiento	Gravas seleccionadas	Alta	Alta continuidad lateral; favorable para explotación inicial
Estructura regional	Falla activa	Desplazamiento estructural	Discontinuidad del depósito	Baja	Restricción operativa; posible inestabilidad
	Falla antigua	Control de drenaje	Variación granulométrica	Media	Cambios locales de espesor; requiere validación local
	Zona altamente fracturada	Meteorización intensa	Material más fino	Baja – Media	Mayor variabilidad; control adicional en explotación
	Geomorfología regional	Sedimentación estable	Gravas bien seleccionadas	Alta	Sector prioritario para explotación
	Llanura aluvial	Sedimentación activa	Arenas con finos	Media	Posible variabilidad; requiere control operacional
	Abanico aluvial	Deposición rápida	Material heterométrico	Baja	Alta heterogeneidad; planificación cuidadosa
	Ladera coluvial	Procesos gravitacionales	Material mezclado	Baja	No prioritario; posible inestabilidad



Con el fin de orientar el desarrollo de la evaluación geológica regional en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción, se propone una secuencia metodológica que facilita la recopilación, análisis e interpretación de la información geológica disponible, así como su verificación preliminar en campo. Esta metodología constituye una herramienta de apoyo para la identificación de áreas con potencial minero y la planificación de las etapas posteriores de exploración.

La **Tabla 4-5** presenta las actividades recomendadas para el desarrollo de la evaluación geológica regional en proyectos de pequeña minería.

Tabla 4-5

Secuencia metodológica para la evaluación geológica regional.

Etapa	Actividades recomendadas
1. Recopilación de información oficial	• Identificar las fuentes oficiales de información geológica aplicables al área de estudio. • Seleccionar la cartografía geológica de mayor detalle disponible elaborada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC). • Verificar que la información corresponda a la versión vigente y sea consistente con el alcance del proyecto.
2. Integración de la información geoespacial	• Organizar la información cartográfica en un Sistema de Información Geográfica (SIG), como QGIS o ArcGIS. • Incorporar el polígono del proyecto y las capas temáticas requeridas para el análisis regional. • Verificar la compatibilidad de escalas, sistemas de referencia y calidad de la información geográfica utilizada.
3. Definición de criterios de evaluación	• Establecer las variables geológicas que serán analizadas durante la evaluación regional. • Definir los criterios para identificar unidades litológicas, estructuras geológicas y geoformas asociadas a la ocurrencia de materiales de construcción. • Priorizar los elementos geológicos que permitan orientar la evaluación del potencial del área.
4. Interpretación geológica preliminar	Analizar, entre otros, los siguientes aspectos: • Presencia de unidades litológicas favorables para el aprovechamiento de materiales de construcción. • Existencia de geoformas asociadas a la acumulación de materiales. • Influencia de la red de drenaje en la formación de depósitos aluviales. • Incidencia de las estructuras geológicas sobre la distribución y continuidad del depósito.



5. Verificación preliminar en campo	• Definir los sectores prioritarios para el reconocimiento geológico. • Verificar la correspondencia entre la cartografía y las condiciones observadas en campo. • Registrar evidencias mediante fotografías georreferenciadas y observaciones de campo que respalden la interpretación geológica inicial.
-------------------------------------	--

Matriz de priorización regional

Como apoyo a la evaluación geológica regional, es recomendable utilizar herramientas que permitan organizar, sintetizar y comparar la información recopilada durante la caracterización del área de estudio. Estas matrices facilitan la integración de criterios geológicos y geomorfológicos, proporcionando una base objetiva para la priorización de los sectores con mayor potencial para la exploración de materiales de construcción.

Antes de avanzar hacia la evaluación geológica local, se recomienda consolidar la información obtenida mediante una matriz de priorización que facilite la comparación de los diferentes sectores evaluados y apoye la selección de las áreas donde se concentrarán las actividades de reconocimiento y exploración.

La **Tabla 4-6** presenta un ejemplo de matriz de priorización regional aplicable a proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Interpretación de la matriz de priorización regional

La matriz de priorización regional integra criterios geológicos y geomorfológicos que permiten comparar objetivamente los sectores evaluados y establecer un orden de prioridad para las actividades de exploración. La interpretación de cada criterio se describe a continuación:

Litología favorable: evalúa si las unidades litológicas presentes poseen características adecuadas para el aprovechamiento como materiales de construcción. Por ejemplo, areniscas competentes o depósitos de gravas y arenas bien clasificadas representan condiciones favorables, mientras que lutitas altamente meteorizadas o materiales con baja competencia presentan un potencial limitado.

Geoforma de acumulación: corresponde a las formas del relieve donde es probable la acumulación de

Tabla 4-6

Matriz de priorización regional para la evaluación geológica

Sector	Litología favorable	Geoforma de acumulación	Continuidad esperada	Potencial preliminar
Sector A	Sí	Terraza fluvial	Alta	Alto
Sector B	Parcial	Ladera coluvial	Baja	Bajo
Sector C	Sí	Abanico aluvial	Media	Medio
...	...	...	...	...



materiales de interés. Entre las geoformas favorables se encuentran las terrazas fluviales, los abanicos aluviales y otros depósitos sedimentarios con potencial para la extracción de materiales de construcción.

Continuidad esperada del depósito: estima el grado de uniformidad y continuidad espacial del material, considerando la información geológica y geomorfológica disponible. Depósitos extensos y homogéneos presentan una mayor continuidad, mientras que depósitos discontinuos o altamente variables requieren una evaluación más detallada.

Potencial preliminar: corresponde a la valoración integral obtenida a partir del análisis conjunto de los criterios anteriores. Esta clasificación permite establecer una prioridad inicial para orientar las actividades de exploración detallada y optimizar la asignación de recursos técnicos y económicos.

La matriz de priorización constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones durante las etapas iniciales del proyecto. Su utilización no reemplaza los estudios geológicos requeridos ni las obligaciones establecidas por la normativa vigente, sino que facilita la selección objetiva de las áreas con mayor potencial para continuar las actividades de exploración.

Lista de chequeo – Evaluación geológica regional
Como mecanismo de control de calidad, se recomienda verificar que la evaluación geológica regional cuente con la información mínima necesaria antes de iniciar la caracterización geológica local. La siguiente lista de chequeo permite confirmar que los principales insumos técnicos han sido recopilados y analizados.

Antes de concluir la evaluación geológica regional, verificar el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- ❑ Cartografía geológica oficial recopilada y revisada.
- ❑ Escala cartográfica verificada y adecuada para el área de estudio.
- ❑ Unidades litológicas predominantes identificadas.

- ❑ Principales estructuras geológicas reconocidas.
- ❑ Geoformas asociadas a la ocurrencia de materiales de construcción identificadas.
- ❑ Reconocimiento preliminar en campo realizado.
- ❑ Registro fotográfico georreferenciado disponible.
- ❑ Fuentes de información y fecha de consulta debidamente documentadas.

El cumplimiento de esta lista de chequeo contribuye a garantizar que la evaluación geológica regional proporcione una base técnica suficiente para avanzar hacia las etapas de caracterización geológica local y exploración detallada del yacimiento.

4.2.1.3 Recomendaciones

La aplicación de la geología regional en proyectos de pequeña minería requiere la adopción de prácticas que garanticen la calidad de la información utilizada, la adecuada interpretación del contexto geológico y la integración de los resultados con las etapas posteriores de exploración. La implementación de estas recomendaciones contribuye a disminuir la incertidumbre técnica y a mejorar la selección de áreas con potencial para el aprovechamiento de materiales de construcción.

La **Tabla 4-7** presenta un conjunto de recomendaciones técnicas para la aplicación de la geología regional, orientadas al uso de información oficial, la verificación en campo y la integración de variables geológicas como soporte para la toma de decisiones durante la planificación de la exploración.



Tabla 4-7.
Recomendaciones técnicas para la aplicación de la geología regional

Acción técnica recomendada	Objetivo técnico	Evidencia o soporte requerido	Riesgo si no se implementa
Utilizar únicamente información cartográfica oficial vigente (SGC, IGAC u otras fuentes oficiales).	Garantizar coherencia técnica y respaldo institucional.	Mapa oficial citado, versión y fecha de consulta.	Uso de información desactualizada o no validada.
Verificar en campo la coherencia entre cartografía e información real.	Reducir incertidumbre por diferencias de escala.	Registro fotográfico georreferenciado y notas de campo.	Interpretaciones erróneas del depósito.
Relacionar siempre la litología regional con el tipo de material esperado en cantera.	Anticipar calidad y comportamiento del material.	Matriz Litología – Material esperable.	Selección inadecuada de áreas.
Integrar litología, estructura y geomorfología antes de priorizar sectores.	Evitar análisis parciales o sesgados.	Matriz integrada regional.	Sobreestimación de continuidad o calidad.
Justificar técnicamente la selección de zonas priorizadas.	Sustentar decisiones de planeamiento.	Documento técnico con criterios explícitos.	Observaciones en fiscalización.
Documentar fuentes, escalas y fecha de consulta	Garantizar trazabilidad técnica.	Listado de fuentes con metadatos.	Falta de soporte ante requerimientos.
Conservar respaldo digital organizado de la cartografía utilizada.	Asegurar disponibilidad futura de información.	Carpeta digital estructurada (GDB o similar).	Pérdida de información técnica.
Incorporar registro fotográfico georreferenciado como evidencia.	Validar interpretación regional con evidencia objetiva.	Fotografías con coordenadas y fecha.	Dificultad para sustentar interpretación.

Ejemplo de aplicación de buenas prácticas

En un área de interés para la explotación de materiales de construcción en cantera, la cartografía geológica oficial identificó el predominio de areniscas competentes, mientras que la cartografía estructural evidenció la presencia de una falla regional que controla el encajonamiento del valle principal. De manera complementaria, la evaluación geomorfológica permitió reconocer terrazas fluviales bien desarrolladas asociadas al cauce actual.

Con base en la integración de la información mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el polígono del proyecto, la cartografía geológica y el modelo digital de elevación, se deli-

mitaron tres sectores preliminares de interés. Posteriormente, la matriz de priorización regional identificó como sector de mayor potencial las terrazas fluviales asociadas a la roca fuente arenisca, debido a la alta probabilidad de contener depósitos de arenas y gravas bien clasificadas, con propiedades favorables para su aprovechamiento como materiales de construcción.

Durante el reconocimiento preliminar en campo se verificó la presencia de material granular superficial con bajo contenido de finos y una adecuada continuidad lateral en el sector central de la terraza. En contraste, los depósitos ubicados sobre



laderas coluviales fueron descartados al presentar alta variabilidad granulométrica y menor continuidad del material.

La integración de la información geológica, geomorfológica y de campo permitió sustentar la selección de las áreas prioritarias para el muestreo y la exploración directa, optimizando el uso de los recursos disponibles, reduciendo la incertidumbre técnica y disminuyendo el riesgo asociado a la evaluación inicial del yacimiento.

4.2.2 Geología local

La geología local tiene como propósito caracterizar el depósito dentro del área específica del proyecto mediante la identificación de su geometría, continuidad, organización interna y variabilidad de los materiales presentes.

Esta información constituye la base para validar las interpretaciones obtenidas durante la evaluación geológica regional y respaldar las decisiones relacionadas con la exploración detallada, el planeamiento de la explotación y la estimación preliminar de recursos.

A diferencia de la geología regional, este componente se desarrolla a escalas de **1:1.000 o de mayor detalle**, permitiendo representar con mayor precisión las características geológicas del yacimiento. Su desarrollo comprende el levantamiento sistemático de información en campo, la descripción de las unidades geológicas y la integración de observaciones geológicas, geomorfológicas y estructurales, conforme al proceso metodológico ilustrado en la Figura 4-2.

Figura 4-2

Proceso metodológico para la evaluación de geología local



4.2.2.1 Alcance en pequeña minería

En proyectos de pequeña minería, la geología local permite:

- Delimitar el depósito con mayor precisión.
- Definir sectores prioritarios para el muestreo y la exploración.
- Identificar zonas con mejores características geológicas y de calidad del material.



- Sustentar la evaluación preliminar de recursos minerales.
- Proporcionar información técnica para el planeamiento inicial de la explotación.

Durante esta etapa es fundamental realizar un levantamiento geológico sistemático, documentando la ubicación de las observaciones, las características litológicas y granulométricas, las estructuras geológicas presentes y el registro fotográfico georeferenciado, con el fin de garantizar la trazabilidad y confiabilidad de la información recopilada.

Para la obtención de información geológica detallada que permita caracterizar el depósito y respaldar las decisiones de exploración y planeamiento minero, se recomienda:

- Desarrollar el levantamiento geológico a escalas de **1:1.000 o de mayor detalle**, de acuerdo con las características del proyecto.
- Basar la caracterización en observaciones directas realizadas en campo.
- Delimitar y describir las unidades geológicas aflorantes y los depósitos superficiales.
- Elaborar perfiles estratigráficos representativos que permitan interpretar la organización del depósito.

- Integrar la información geológica con el análisis geomorfológico y estructural a escala local.

Aunque este nivel de evaluación no requiere modelos geológicos tridimensionales avanzados ni estudios estructurales de alta complejidad, sí demanda un levantamiento sistemático, documentado y técnicamente sustentado que garantice la calidad y confiabilidad de la información obtenida.

4.2.2.2 Componentes de la Geología Local

La caracterización geológica local integra un conjunto de elementos que permiten describir detalladamente las condiciones del depósito y comprender su comportamiento espacial. El análisis conjunto de estos componentes proporciona la información necesaria para orientar el muestreo, la exploración detallada y la evaluación preliminar de los recursos minerales.

La **Tabla 4-8** presenta los principales componentes que deben considerarse durante la evaluación geológica local en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 4-8

Componentes de la evaluación geológica local

Elemento evaluado	¿Qué se registra?	Producto esperado	Incidencia en decisiones
Delimitación del depósito	Extensión real y límites naturales	Plano local delimitado	Define área explotable
Espesores	Medición directa en cortes o perfiles	Perfiles estratigráficos	Base para estimación volumétrica
Organización interna	Capas, intercalaciones, contactos	Esquema estratigráfico	Control de calidad del material
Granulometría visible	Tamaño dominante y presencia de finos	Descripción sedimentaria	Selección preliminar de uso
Condiciones estructurales locales	Fracturas, inclinación del sustrato	Registro estructural	Evaluación geotécnica preliminar



La evaluación geológica local requiere un procedimiento sistemático que permita obtener información detallada del depósito mediante observaciones directas en campo y el registro estandarizado de las características geológicas. La aplicación de esta secuencia metodológica facilita la delimitación preliminar del depósito, la elaboración de perfiles estratigráficos y la recopilación de informa-

ción georreferenciada que servirá de base para las etapas posteriores de exploración y evaluación de recursos.

La **Tabla 4-9** presenta una secuencia metodológica recomendada para el desarrollo de la evaluación geológica local en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 4-9

Secuencia metodológica para la evaluación geológica local

Etapas	Actividades recomendadas
1. Planificación del levantamiento geológico	• Definir los sectores priorizados con base en los resultados de la evaluación geológica regional. • Preparar la cartografía base a escala 1:1.000 o de mayor detalle, de acuerdo con las características del proyecto. • Verificar la disponibilidad del polígono minero y de la información geográfica que será utilizada durante el trabajo de campo.
2. Reconocimiento geológico sistemático	• Planificar el recorrido de campo para cubrir representativamente el área de estudio. • Identificar variaciones en la litología, granulometría, textura y continuidad del depósito. • Seleccionar los puntos de observación que serán descritos y documentados durante el levantamiento.
3. Registro de la información geológica	Registrar en cada punto de observación, como mínimo: • Tipo de material predominante. • Litología. • Tamaño dominante de las partículas. • Contenido aparente de finos. • Estado del material (consolidado, parcialmente consolidado o no consolidado). • Espesor observable del depósito. • Coordenadas del punto. • Registro fotográfico georreferenciado.



4. Elaboración de perfiles estratigráficos	• Seleccionar cortes naturales, taludes o excavaciones representativas. • Describir la secuencia estratigráfica observada. • Identificar cambios granulométricos, contactos litológicos, estructuras geológicas y niveles de materiales finos. • Correlacionar los perfiles cuando sea posible.
5. Integración y documentación de la información	• Consolidar la información georreferenciada obtenida durante el levantamiento. • Organizar el registro fotográfico y la codificación de puntos, perfiles y observaciones de campo. • Verificar la consistencia entre las descripciones geológicas y la cartografía elaborada.
6. Delimitación preliminar del depósito	• Integrar la información cartográfica, los perfiles estratigráficos y las observaciones de campo. • Definir preliminarmente la extensión lateral y vertical del depósito. • Identificar sectores prioritarios para el muestreo y la exploración detallada.

Formato básico de registro de punto geológico

Como apoyo al levantamiento geológico local, se recomienda utilizar formatos estandarizados para registrar la información obtenida en cada punto de observación. Estos formatos facilitan la organización, trazabilidad y verificación de los datos recopilados en campo, permitiendo su utilización en la delimitación del depósito, la interpretación geológica y la estimación preliminar de espesores.

La **Tabla 4-10** presenta un ejemplo de formato básico para el registro de puntos geológicos durante la evaluación geológica local.

Tabla 4-10

Formato básico de registro de puntos geológicos

Punto	Coordenadas	Tipo de material	Tamaño dominante	% finos estimado	Espesor visible	Observación
GL-01	5.1234 N / -73.4567 W	Grava arenosa	2–5 cm	Bajo	3,5 m	Buena selección
GL-02	...	Arena limosa	< 2 mm	Alto	2,0 m	Variabilidad lateral



Interpretación del formato básico de registro de punto geológico

El formato de registro de puntos geológicos permite documentar de manera sistemática la información recopilada durante el levantamiento en campo y garantizar la trazabilidad de las observaciones realizadas. A continuación, se describe el propósito de cada uno de los campos incluidos en el formato:

- **Punto:** código único asignado a cada sitio de observación (por ejemplo, GL-01). Este identificador permite relacionar la información de campo con la ubicación geográfica, el registro fotográfico, los perfiles estratigráficos y demás evidencias técnicas.
- **Coordenadas:** ubicación geográfica del punto de observación obtenida mediante receptor GNSS, GPS o aplicaciones móviles con capacidad de georreferenciación. Su registro permite localizar nuevamente el sitio y garantiza la trazabilidad de la información.
- **Tipo de material:** Describe la naturaleza del material observado en campo, indicando si corresponde, por ejemplo, a arena, grava, depósito aluvial, coluvión, roca aflorante o material residual. Esta descripción constituye una clasificación geológica preliminar basada en observaciones directas.
- **Granulometría predominante:** Corresponde al tamaño de partícula que predomina en el depósito (por ejemplo, arena fina, grava media o bloques), permitiendo una primera aproximación a las características del material y a su posible aprovechamiento.
- **Contenido aparente de finos:** Estimación visual de la proporción de partículas finas presentes en el material (bajo, medio o alto). Este criterio orienta preliminarmente la necesidad de procesos de clasificación o beneficio, sin sustituir los resultados de laboratorio.
- **Espesor observable:** Corresponde al espesor del depósito medido en cortes naturales, taludes o excavaciones que presenten condiciones seguras para su observación. Siempre que sea posible, la medición debe realizarse mediante

instrumentos apropiados y no mediante estimaciones visuales.

- **Observaciones:** Espacio destinado al registro de aspectos relevantes como continuidad lateral, presencia de niveles arcillosos, humedad, estructuras sedimentarias, evidencias de retrobajo, variaciones granulométricas u otras características que complementen la interpretación geológica.

El formato de registro constituye una herramienta de apoyo para la organización y documentación del levantamiento geológico. Su utilización facilita la sistematización de la información de campo, sin reemplazar los requisitos establecidos en la normativa vigente cuando estos sean aplicables.

Lista de chequeo – Geología local

Como mecanismo de control de calidad, se recomienda verificar que el levantamiento geológico local cuente con la información mínima necesaria antes de avanzar hacia la caracterización detallada del depósito y las actividades de exploración. Antes de concluir la evaluación geológica local, verificar el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- ❑ Levantamiento geológico realizado a escala 1:1.000 o de mayor detalle.
- ❑ Puntos de observación georreferenciados y debidamente registrados.
- ❑ Perfiles estratigráficos elaborados y documentados.
- ❑ Espesores medidos en campo mediante observación directa.
- ❑ Descripción litológica y granulométrica registrada para cada punto.
- ❑ Registro fotográfico georreferenciado con escala de referencia.
- ❑ Delimitación preliminar del depósito representada cartográficamente.
- ❑ Información de campo organizada y respaldada en formato digital.

El cumplimiento de esta lista de chequeo contribuye a garantizar que la caracterización geológica



local proporcione una base técnica confiable para la delimitación del depósito, la planificación del muestreo y la evaluación preliminar de los recursos minerales.

Tabla 4-11
Lineamientos operativos para la geología local

Acción técnica recomendada	Objetivo técnico	Evidencia requerida	Riesgo si no se implementa
Realizar levantamiento a escala $\geq 1:1.000$	Garantizar detalle adecuado	Plano base con escala definida	Información insuficiente
Medir espesores reales y no estimados	Reducir error volumétrico	Registro métrico en perfil	Sobreestimación de recursos
Registrar puntos georreferenciados	Asegurar trazabilidad espacial	Coordenadas verificables	Imposibilidad de replicar estudio
Documentar granulometría y presencia de finos	Anticipar comportamiento del material	Fichas técnicas	Problemas en uso del material
Incorporar registro fotográfico georreferenciado	Evidencia técnica objetiva	Fotografías con coordenadas	Observaciones en fiscalización
Digitalizar y organizar la información	Facilitar control y seguimiento	Base de datos organizada	Pérdida de soporte técnico

Ejemplo de aplicación de buenas prácticas

En un área previamente priorizada mediante la evaluación geológica regional, se desarrolló un levantamiento geológico local a escala 1:1.000 con el propósito de caracterizar el depósito y validar las condiciones identificadas durante la fase regional. Durante el reconocimiento en campo se identificaron terrazas fluviales conformadas principalmente por gravas medianas bien seleccionadas, con intercalaciones de niveles limosos de espesor reducido .

Como parte del levantamiento se registraron **12 puntos** georreferenciados y se elaboraron **cuatro perfiles estratigráficos** en cortes naturales y taludes con condiciones seguras, confirmando un espesor promedio de aproximadamente cuatro metros de material con potencial para su aprovechamiento como material de construcción.

La integración de la información geológica, geomorfológica y estratigráfica permitió establecer que el sector central de la terraza presentaba mayor continuidad del depósito, baja proporción de finos y características granulométricas favorables. En contraste, los sectores próximos a una ladera coluvial evidenciaron una mayor variabilidad granulométrica, incremento en el contenido de finos y menor continuidad lateral del material.

Con base en la interpretación conjunta de la información recopilada, se delimitó como área prioritaria el sector central de la terraza para el desarrollo del programa de muestreo y exploración detallada, descartando las zonas con mayor heterogeneidad del depósito.

La aplicación de esta metodología permitió orientar las actividades de exploración hacia los sectores



con mejores condiciones geológicas, optimizando el uso de los recursos técnicos y económicos y reduciendo la incertidumbre asociada a la caracterización preliminar del yacimiento.

4.2.3 Caracterización del depósito

La caracterización del depósito corresponde a la etapa en la que se integra la información obtenida durante las evaluaciones geológica regional y local para definir las características del cuerpo explotable. Este proceso permite establecer su geometría, continuidad, variabilidad y principales propiedades físicas, proporcionando una comprensión técnica del depósito que sirve de base para el muestreo, la estimación preliminar de recursos y el planeamiento inicial de la explotación, como se ilustra en la **Figura 4-3** (CRIRSCO, 2019; ANM, 2018).

En proyectos de pequeña minería, la caracterización del depósito permite:

- Delimitar con mayor precisión la extensión lateral y vertical del depósito.
- Identificar sectores homogéneos y zonas con variaciones litológicas o granulométricas.
- Evaluar las principales propiedades físicas del material de construcción.
- Sustentar la evaluación preliminar de recursos minerales.
- Proporcionar información técnica para la planificación del muestreo y del diseño inicial de la explotación.

El propósito de esta etapa no es desarrollar modelos geológicos tridimensionales de alta complejidad, sino integrar información suficiente, verificable y técnicamente sustentada que permita reducir la incertidumbre y apoyar la toma de decisiones durante las etapas iniciales del proyecto.

Figura 4-3

Proceso metodológico para la caracterización del depósito





4.2.3.1 Alcance en pequeña minería

En proyectos de pequeña minería, la caracterización del depósito debe orientarse a consolidar la información geológica obtenida durante las etapas de exploración y transformarla en una base técnica para el planeamiento minero. Para ello, se recomienda:

- Desarrollar la caracterización a escala 1:1.000 o de mayor detalle, de acuerdo con las condiciones del proyecto.
- Basar la evaluación en observaciones directas realizadas en campo y en la información recopilada durante la geología local.
- Delimitar la extensión lateral y vertical del depósito.
- Describir la continuidad, el espesor y la variabilidad de los materiales presentes.
- Evaluar las principales propiedades físicas del material, tales como granulometría, contenido de finos, humedad y grado de consolidación.

Aunque esta etapa no requiere modelos geológicos tridimensionales avanzados, sí demanda la integración sistemática de la información geológica, geomorfológica y de campo para respaldar técnicamente la evaluación del depósito.

4.2.3.2 Componentes de la Caracterización del Depósito

A La caracterización del depósito integra un conjunto de componentes que permiten describir las características geométricas, estratigráficas y físicas del cuerpo explotable. El análisis conjunto de estos elementos proporciona la información necesaria para orientar el muestreo, la evaluación preliminar de recursos y la planificación de la explotación.

La **Tabla 4-12** presenta los principales componentes y variables técnicas que deben considerarse durante la caracterización del depósito en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

La caracterización del depósito requiere integrar la información geológica recopilada durante las etapas de evaluación regional y geología local para definir las características del cuerpo explotable. La aplicación de esta secuencia metodológica permite delimitar el depósito, evaluar su continuidad, identificar variaciones internas y organizar la información técnica que servirá de base para el muestreo, la estimación preliminar de recursos y el planeamiento de la explotación.

Tabla 4-12

Componentes y variables técnicas en la caracterización del depósito

Componente	Variable técnica asociada	Cómo se determina	Producto esperado	Incidencia en pequeña minería
Geometría y límites	Espesor explotable	Medición en perfiles	Espesor útil	Base para cálculo volumétrico
	Continuidad lateral	Correlación entre perfiles	Dominio interno definido	Delimitación de zonas explotables
Caracterización sedimentaria	Variabilidad interna	Comparación entre sectores	Identificación de dominios	Diferenciación de zonas homogéneas
	Organización interna	Descripción de capas e intercalaciones	Esquema estratigráfico	Planeamiento de bancos
Propiedades físicas	Granulometría	Observación y/o ensayo granulométrico	Curva granulométrica	Clasificación del material
	Contenido de finos	Análisis visual o laboratorio	% de finos	Aptitud como agregado



La **Tabla 4-13** presenta una secuencia metodológica recomendada para la caracterización del depósito en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 4-13

Secuencia metodológica para la caracterización del depósito

Etapas	Actividades recomendadas
1. Delimitación preliminar del depósito	• Integrar la información obtenida durante la geología local para definir preliminarmente los límites laterales y verticales del depósito. • Utilizar la cartografía geológica, los perfiles estratigráficos y las observaciones de campo como soporte de la delimitación. • Representar cartográficamente el contorno preliminar del cuerpo explotable.
2. Evaluación de espesores y continuidad	• Analizar los perfiles estratigráficos representativos para estimar los espesores explotables. • Evaluar la continuidad lateral y vertical del depósito. • Identificar sectores donde se requiera información adicional para reducir la incertidumbre geológica.
3. Identificación de dominios geológicos	• Diferenciar las unidades internas del depósito de acuerdo con sus características litológicas y granulométricas. • Identificar cambios en el contenido de finos, estructuras sedimentarias e intercalaciones de materiales. • Delimitar sectores homogéneos y zonas con mayor variabilidad geológica.
4. Evaluación preliminar de la calidad del material	• Analizar las características físicas observadas en campo, tales como granulometría, contenido de finos, grado de selección y estado del material. • Identificar sectores con diferentes condiciones de aprovechamiento. • Establecer una clasificación preliminar del potencial del material como soporte para el programa de muestreo.
5. Integración e interpretación del depósito	• Integrar la información geológica, geomorfológica, estratigráfica y cartográfica disponible. • Correlacionar perfiles, observaciones de campo y registros geológicos. • Construir un modelo conceptual del depósito que represente su geometría, continuidad, variabilidad y calidad preliminar.



Matriz de caracterización preliminar del depósito

Como apoyo a la caracterización del depósito, se recomienda utilizar herramientas que permitan integrar y comparar las principales variables geológicas observadas durante el levantamiento de campo. Estas matrices facilitan la interpretación de la información recopilada y constituyen un apoyo para la priorización de sectores antes de iniciar las actividades de muestreo.

La **Tabla 4-14** presenta un ejemplo de matriz para la caracterización preliminar del depósito en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 4-14

Matriz de caracterización preliminar del depósito

Tabla 414. Matriz simple de evaluación del depósito

Sector	Espesor promedio	Continuidad	Contenido de finos	Calidad preliminar
Sector A	4,5 m	Alta	Bajo	Alta
Sector B	3,0 m	Media	Medio	Media
Sector C	2,0 m	Baja	Alto	Baja

Interpretación de la matriz

La matriz resume las principales características del depósito y facilita la comparación técnica entre los diferentes sectores evaluados.

- **Espesor promedio:** Corresponde al espesor medio del material con potencial de aprovechamiento, determinado a partir de perfiles estratigráficos, cortes naturales u otras observaciones representativas. En términos generales, mayores espesores pueden representar un mayor volumen potencial de material.

- **Continuidad:** Evalúa el grado de uniformidad y persistencia lateral del depósito. Sectores con alta continuidad presentan menor variabilidad geológica y ofrecen mejores condiciones para la planificación de la explotación.
- **Contenido de finos:** Estimación preliminar de la proporción de limos y arcillas presentes en el material. Un contenido elevado de finos puede afectar la calidad del material y requerir procesos adicionales de clasificación o beneficio.
- **Calidad preliminar:** Valoración integral obtenida a partir del análisis conjunto del espesor, la continuidad y el contenido de finos. Esta clasificación constituye un criterio inicial para priorizar los sectores donde se desarrollarán las actividades de muestreo.

La matriz de caracterización constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones durante la evaluación del depósito y no reemplaza los estudios técnicos ni los requisitos establecidos en la normativa vigente.

Lista de chequeo – Caracterización del depósito

Como mecanismo de control de calidad, se recomienda verificar que la caracterización del depósito cuente con la información mínima necesaria antes de iniciar el programa de muestreo.

Antes de concluir esta etapa, verificar el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- ❑ Límites laterales y verticales del depósito definidos cartográficamente.
- ❑ Espesores del depósito medidos y documentados.
- ❑ Perfiles estratigráficos representativos elaborados.
- ❑ Variaciones litológicas y granulométricas identificadas.
- ❑ Dominios geológicos o sectores homogéneos delimitados.
- ❑ Registro fotográfico georreferenciado disponible.
- ❑ Información técnica organizada y respaldada en formato digital.



El cumplimiento de esta lista de chequeo contribuye a garantizar que la caracterización del depósito proporcione una base técnica suficiente para planificar el programa de muestreo y avanzar hacia la evaluación preliminar de los recursos minerales.

4.2.3.3 Recomendaciones

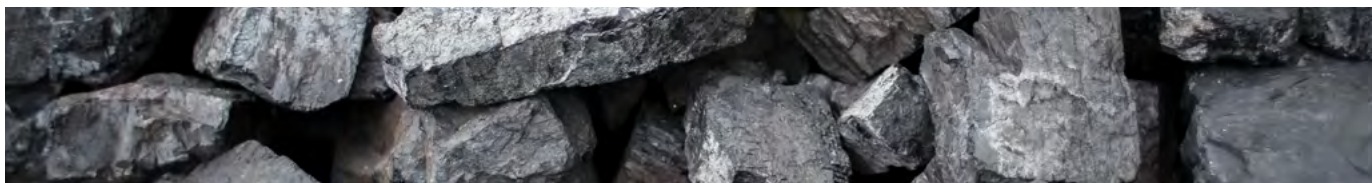
La caracterización del depósito requiere la aplicación de criterios técnicos que permitan representar de manera confiable la geometría, continuidad, variabilidad y calidad del material. La implementación de las siguientes recomendaciones contribuye a mejorar la interpretación geológica, fortalecer la trazabilidad de la información y reducir la incertidumbre durante la evaluación preliminar del depósito.

La **Tabla 4-15** presenta un conjunto de recomendaciones técnicas para la caracterización del depósito, orientadas a la integración de la información geológica, la delimitación de dominios geológicos y el análisis de las principales variables que condicionan el aprovechamiento de los materiales de construcción.



Tabla 4-15
Recomendaciones técnicas para la caracterización del depósito

Acción recomendada	Objetivo técnico	Evidencia requerida	Riesgo si no se aplica
No asumir homogeneidad del depósito	Reducir error en estimación	Matriz de dominios	Sobreestimación volumétrica
Diferenciar dominios de calidad	Mejor control productivo	Mapa de dominios	Mezcla inadecuada
Documentar criterios de interpretación	Trazabilidad técnica	Informe metodológico	Observaciones en fiscalización
Integrar resultados con geología local	Coherencia técnica	Correlación perfiles-dominios	Inconsistencia técnica
Controlar presencia de finos	Garantizar aptitud	Ensayo o estimación documentada	Rechazo del material en mercado



Ejemplo de aplicación de buenas prácticas

En una terraza fluvial previamente delimitada mediante las etapas de geología regional y geología local, se realizó la caracterización del depósito a partir del análisis integrado de perfiles estratigráficos, observaciones de campo y evaluación preliminar de las propiedades físicas del material. Los resultados evidenciaron espesores variables entre tres y cinco metros, con un nivel inferior conformado por gravas bien seleccionadas y bajo contenido de finos, y un nivel superior con mayor proporción de limos e intercalaciones de materiales finos.

La información recopilada fue organizada mediante la matriz de caracterización preliminar del depósito, la cual permitió comparar los diferentes sectores evaluados. El sector central registró un espesor promedio de **4,5 m**, alta continuidad lateral y bajo contenido de finos, por lo que fue clasificado con **calidad preliminar alta**. En contraste, los sectores próximos a las laderas presentaron menor continuidad del depósito, mayor variabilidad granulométrica y un contenido más elevado de finos, clasificándose con calidad preliminar media o baja.

La integración de la información geológica y la aplicación de la matriz permitieron delimitar las áreas con mejores condiciones para el aprovechamiento de los materiales de construcción y establecer prioridades para el programa de muestreo y el diseño inicial de la explotación.

Como resultado, fue posible optimizar la distribución de los recursos destinados a la exploración, reducir la incertidumbre asociada a la variabilidad del depósito y disponer de una base técnica sólida para la estimación preliminar de recursos y el planeamiento inicial de la explotación.

4.2.4 Información de exploración directa y muestreo/ Control de calidad (QA/QC)

La exploración directa y el muestreo constituyen la etapa mediante la cual se verifica en campo la información obtenida durante la caracterización del depósito. A través de excavaciones de reconocimiento, la obtención de muestras representativas y la aplicación de procedimientos básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC), es posible confirmar las características geológicas, la continuidad del depósito y la calidad de los materiales de construcción, como se ilustra en la **Figura 4-4** (ANM, 2018).

En proyectos de pequeña minería, este componente permite:

- Validar la información obtenida durante la geología local y la caracterización del depósito.
- Confirmar la geometría, continuidad y espesor del material explotable.
- Obtener muestras representativas para la realización de ensayos de laboratorio.
- Evaluar las características físicas y granulométricas del material.
- Garantizar la trazabilidad de las muestras y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

El propósito de esta etapa no es implementar programas complejos de exploración o protocolos avanzados de aseguramiento de la calidad, sino aplicar procedimientos técnicamente adecuados que permitan obtener información representativa, verificable y suficiente para respaldar la evaluación preliminar de recursos y el planeamiento de la explotación.



Figura 4-4

Proceso metodológico para la exploración directa, el muestreo y el aseguramiento de la calidad (QA/QC).



- Diseñar un programa de muestreo representativo, considerando los diferentes sectores o unidades geológicas identificadas.
- Aplicar procedimientos básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC), de acuerdo con el tipo de material y el alcance de la exploración.
- Garantizar la trazabilidad de las muestras desde su obtención en campo hasta la recepción en el laboratorio.
- Mantener la coherencia entre la densidad de muestreo, el nivel de detalle requerido y la escala del proyecto.

La aplicación de estos criterios permite obtener información confiable para la evaluación del depósito, sin requerir procedimientos de exploración o programas de control de calidad propios de proyectos de gran escala.

4.2.4.2 Componentes de la exploración directa y el muestreo

La exploración directa y el muestreo integran un conjunto de actividades destinadas a obtener información representativa del depósito y garantizar la calidad de los datos utilizados durante su evaluación. Estos componentes comprenden la planificación del muestreo, la ejecución de excavaciones, la obtención y manejo de muestras, la documentación de la información de campo y la aplicación de controles básicos de aseguramiento y control de la calidad.

La **Tabla 4-16** presenta los principales componentes que deben considerarse durante la exploración directa y el muestreo en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

4.2.4.1 Alcance en pequeña minería

En proyectos de pequeña minería, la exploración directa y el muestreo deben orientarse a confirmar las características del depósito mediante procedimientos sencillos, técnicamente sustentados y acordes con la escala del proyecto. Para ello, se recomienda:

- Realizar la exploración directa mediante apiques, trincheras, calicatas u otras excavaciones apropiadas para las condiciones del depósito.



Tabla 4-16
Componentes de la exploración directa, el muestreo y el aseguramiento de la calidad (QA/QC).

Componente	Etapas / Acción técnica	Evidencia requerida	Incidencia en pequeña minería
Exploración directa	Exposición física mediante apiques o trincheras	Fichas de campo y registro fotográfico	Confirma espesores y contactos reales
	Registro estratigráfico detallado	Perfil estratigráfico medido	Base para estimación preliminar
Muestreo sistemático	Selección estratégica de puntos	Coordenadas georreferenciadas	Garantiza representatividad
	Toma controlada y rotulada de muestras	Muestras codificadas	Ensayos confiables
QA (Aseguramiento de calidad)	Codificación única y registro sistemático	Etiquetas y base digital organizada	Asegura trazabilidad
	Conservación de muestra testigo	Almacenamiento identificado	Permite verificación posterior
QC (Control de calidad)	Revisión de consistencia y repetibilidad	Registro comparativo	Detecta errores o inconsistencias
	Verificación cruzada de datos	Validación interna documentada	Mejora confiabilidad técnica



La exploración directa y el muestreo requieren una metodología que garantice la obtención de muestras representativas y la confiabilidad de la información utilizada para evaluar el depósito. La aplicación de una secuencia organizada de actividades permite ejecutar el reconocimiento en campo, documentar adecuadamente las muestras y aplicar procedimientos básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC), preservando su representatividad y trazabilidad durante todo el proceso.

La **Tabla 4-17** presenta una secuencia metodológica recomendada para la exploración directa, el muestreo y el aseguramiento de la calidad (QA/QC) en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.



Tabla 4-17

Secuencia metodológica para la exploración directa, el muestreo y el aseguramiento de la calidad (QA/QC)

Etapa	Actividades recomendadas
1. Planificación de la exploración directa	• Seleccionar los sectores representativos donde se ejecutarán apiques, trincheras o calicatas. • Definir la ubicación de las excavaciones con base en las características geológicas del depósito. • Verificar las condiciones de acceso y seguridad para el desarrollo de las actividades de campo.
2. Ejecución de la exploración y registro geológico	• Describir las unidades geológicas expuestas en cada excavación. • Registrar espesores, contactos litológicos, estructuras, coordenadas geográficas y demás observaciones relevantes. • Documentar la información mediante registros de campo y evidencia fotográfica georreferenciada.
3. Diseño y ejecución del muestreo	• Definir los niveles o estratos que serán muestreados. • Obtener muestras representativas de acuerdo con las características del depósito. • Determinar el número, distribución y volumen de las muestras según los ensayos previstos.
4. Manejo e identificación de las muestras	• Aplicar procedimientos que eviten la contaminación, mezcla o alteración de las muestras. • Asignar un código único a cada muestra. • Registrar la ubicación, profundidad, fecha de obtención y demás datos requeridos para su identificación.
5. Aseguramiento y control de la calidad (QA/QC)	• Implementar procedimientos básicos de aseguramiento y control de la calidad durante el muestreo. • Realizar verificaciones mediante muestras duplicadas u otros controles apropiados para la escala del proyecto. • Mantener la cadena de custodia desde el campo hasta la recepción en el laboratorio.
6. Integración e interpretación de resultados	• Integrar la información obtenida en campo con los resultados de laboratorio. • Verificar la coherencia entre las observaciones geológicas y los resultados analíticos.



Formato básico de control de muestreo

Como apoyo a las actividades de exploración directa y muestreo, se recomienda utilizar formatos estandarizados que permitan registrar de manera sistemática la información asociada a cada muestra obtenida en campo. Estos formatos facilitan la identificación, trazabilidad y control del proceso de muestreo, constituyendo un elemento fundamental para el aseguramiento y control de la calidad (QA/QC).

La **Tabla 4-18** presenta un ejemplo de formato básico para el control de muestreo en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 4-18

Formato básico de control de muestreo

Código muestra	Coordenadas	Estrato	Profundidad	Tipo material	Duplicado (Sí/No)	Observaciones
M-01	5.1234 N / -73.4567 W	Nivel inferior	1,5 m	Grava media	No	Material limpio
M-02	...	Nivel inferior	1,5 m	Grava media	Sí	Duplicado QA

Interpretación del formato básico de control de muestreo

El formato de control de muestreo permite documentar de manera sistemática la información asociada a cada muestra obtenida durante la exploración directa, garantizando su identificación, trazabilidad y seguimiento desde la recolección en campo hasta el análisis en laboratorio.

A continuación, se describe el propósito de cada uno de los campos incluidos en el formato:

- **Código de la muestra:** identificador único asignado a cada muestra. Este código permite relacionar la muestra con el punto de extracción, los registros de campo, la cadena de custodia y los resultados de laboratorio.
- **Coordenadas:** ubicación geográfica del punto donde fue obtenida la muestra, registrada mediante receptor GNSS, GPS o aplicaciones móviles con capacidad de georreferenciación. Este dato garantiza la trazabilidad y facilita la localización del sitio de muestreo.
- **Estrato o unidad muestreada:** corresponde al nivel estratigráfico, unidad geológica o intervalo del depósito del cual fue extraída la muestra, permitiendo asociar los resultados de laboratorio con las características geológicas observadas en campo.
- **Profundidad o intervalo de muestreo:** indica la profundidad o el intervalo específico dentro del apique, calicata o trinchera donde se obtuvo la muestra, información necesaria para interpretar su posición dentro del depósito.
- **Tipo de material:** describe de manera preliminar el material observado durante el muestreo (por ejemplo, arena, grava, mezcla de gravas y arenas, roca meteorizada o material fino). Esta clasificación es únicamente descriptiva y no reemplaza los resultados de laboratorio.
- **Muestra duplicada (QA/QC):** indica si la muestra corresponde a un duplicado de campo utilizado como parte de las actividades de control de la calidad (QC), con el propósito de evaluar la repetibilidad del proceso de muestreo. La frecuen-



cia de estos controles debe definirse de acuerdo con el alcance y las características del proyecto.

- Observaciones: espacio destinado al registro de aspectos relevantes que puedan influir en la interpretación de los resultados, como presencia de humedad, contenido visible de finos, contaminación potencial, dificultades durante el muestreo o cualquier otra condición observada en campo.

El formato de control de muestreo constituye una herramienta de apoyo para la organización y trazabilidad de la información generada durante la exploración directa. Su utilización contribuye a mejorar la confiabilidad del proceso de muestreo, sin sustituir los requisitos establecidos por la normativa vigente o por los procedimientos específicos adoptados para cada proyecto.



4.2.4.3 Controles básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) en pequeña minería

El aseguramiento de la calidad (Quality Assurance, QA) y el control de la calidad (Quality Control, QC) constituyen un conjunto de procedimientos orientados a mejorar la confiabilidad, consistencia y trazabilidad de la información obtenida durante la exploración directa y el muestreo. Su aplicación permite reducir la posibilidad de errores asociados a la obtención, manejo, transporte y análisis de las muestras, como se presenta en la **Tabla 4-19**.

En proyectos de pequeña minería de materiales de construcción, la implementación de QA/QC debe ser proporcional a la escala y complejidad del proyecto, priorizando procedimientos prácticos que fortalezcan la calidad de la información sin generar requerimientos técnicos innecesarios.

En este contexto:

El aseguramiento de la calidad (QA): comprende las actividades planificadas para prevenir errores durante el proceso de muestreo, incluyendo la definición de procedimientos, la correcta identificación de las muestras, la aplicación de la cadena de custodia y el diligenciamiento adecuado de los registros de campo.

El control de la calidad (QC): corresponde a las actividades de verificación orientadas a identificar posibles inconsistencias en los resultados, mediante controles como la utilización de muestras duplicadas, la revisión de registros y la comparación de resultados analíticos cuando sea pertinente.

La aplicación de estos controles no pretende implementar programas avanzados de QA/QC propios de proyectos de exploración de gran escala, sino disponer de procedimientos básicos que permitan obtener información representativa, verificable y suficientemente confiable para respaldar la caracterización del depósito y la evaluación preliminar de recursos.



La **Tabla 4-19** resume los principales controles de QA/QC recomendados para proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 419

Controles básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) en pequeña minería

Componente	Campo (QA/QC)	Laboratorio (QA/QC)
Identificación	Código único y registro en bitácora	Verificación de coincidencia código–registro
Trazabilidad	Cadena de custodia documentada	Registro de ingreso y seguimiento analítico
Integridad	Empaque sellado y resistente	Revisión de integridad al recibir
Repetibilidad	Duplicados de campo (5–10%)	Ensayos repetidos o duplicados analíticos
Control instrumental	Verificación básica de equipos topográficos	Calibración periódica de equipos
Control documental	Bitácora firmada y registro digital	Reportes firmados y respaldo digital
Criterios de rechazo	Muestra contaminada o mal identificada	Resultados inconsistentes o fuera de rango

Lista de chequeo – Exploración directa, muestreo y QA/QC

La siguiente lista de chequeo facilita la verificación de las actividades desarrolladas durante la exploración directa y el muestreo, con el fin de confirmar que la información utilizada para la caracterización del depósito y la evaluación preliminar de recursos sea representativa, trazable y técnicamente confiable.

Antes de utilizar los resultados para la caracterización del depósito, la evaluación preliminar de recursos o el planeamiento de la explotación, se recomienda verificar que se hayan cumplido los siguientes aspectos:

- ❑ Apiques, calicatas o trincheras ubicados en sectores representativos del depósito.
- ❑ Descripción geológica y medición de espesores registradas para cada excavación.
- ❑ Muestras obtenidas de acuerdo con el plan de muestreo establecido.
- ❑ Muestras identificadas mediante un código único y registradas en los formatos de campo.
- ❑ Trazabilidad de las muestras garantizada mediante registros y cadena de custodia.

- ❑ Controles básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) implementados conforme al programa definido para el proyecto.
- ❑ Registro fotográfico georreferenciado de los puntos de exploración y muestreo.
- ❑ Resultados de laboratorio revisados y comparados con las observaciones realizadas en campo.
- ❑ Posibles inconsistencias, pérdidas o contaminación de muestras documentadas y gestionadas de acuerdo con los procedimientos establecidos.

4.2.4.4 Recomendaciones

A continuación, en la Tabla 420, se presentan recomendaciones orientadas a la aplicación de buenas prácticas en el muestreo y control de calidad (QA/QC), con el fin de garantizar la representatividad, coherencia y trazabilidad de la información obtenida en campo. Estas recomendaciones enfatizan la correcta toma de muestras, la documentación adecuada y la relación de los resultados con los dominios definidos, buscando reducir sesgos, evitar distorsiones en los resultados y asegurar la confiabilidad técnica de la información para la toma de decisiones.



Tabla 4-20

Lineamientos en exploración y QA/AC

Acción recomendada	Objetivo técnico	Riesgo si no se implementa
No mezclar muestras de distintos niveles	Mantener coherencia estratigráfica	Distorsión de resultados
Tomar muestras representativas y no selectivas	Evitar sesgo	Resultados irreales
Documentar fecha y responsable	Garantizar trazabilidad	Observaciones en fiscalización
Relacionar resultados con dominios definidos	Coherencia técnica	Inconsistencia con caracterización

Ejemplo de buenas prácticas

Ejemplo 1:

En un depósito aluvial previamente delimitado, se realizan tres apiques representativos donde se exponen espesores entre 2,8 y 4,2 metros de material granular. En cada apique se levanta un perfil estratigráfico detallado y se toman muestras por estrato dominante.

Cada muestra se rotula con código único, coordenadas y profundidad. Se toman duplicados en uno de los apiques para verificar repetibilidad. En laboratorio, se comparan resultados granulométricos entre muestra original y duplicado, observando variaciones dentro de rangos aceptables.

Con base en la integración de exploración directa, muestreo sistemático y QA/QC básico, se valida la continuidad del nivel granular principal y se sustenta técnicamente la estimación preliminar del volumen explotable.

Ejemplo 2:

En un depósito aluvial previamente delimitado, se ejecutan tres apiques representativos. En cada uno se levantan perfiles estratigráficos y se identifican niveles dominantes de grava media.

Se toman muestras por estrato principal, rotuladas con código único y coordenadas precisas. En uno de los apiques se toma un duplicado (10%) para verificar repetibilidad.

En laboratorio, los resultados granulométricos muestran diferencias mínimas entre muestra original y duplicado, confirmando confiabilidad. Los datos coinciden con la descripción de campo, validando continuidad del nivel granular principal.

Con esta integración se confirma técnicamente la calidad del material y se sustenta la estimación preliminar del volumen explotable.

4.2.5 Modelo geológico

El modelo geológico constituye la síntesis integral de toda la información recopilada en las etapas de geología regional, geología local, caracterización del depósito y exploración directa con muestreo. Su propósito es representar de manera coherente la geometría del depósito, la organización interna de los materiales, la calidad del material y las zonas de variabilidad.

En pequeña minería de materiales de construcción, el modelo no busca desarrollar simulaciones complejas, sino transformar información técnica en una herramienta clara para la toma de decisiones operativas. (Figura 5) Permite:



- Reducir incertidumbre.
- Delimitar sectores aprovechables.
- Identificar dominios de calidad.
- Sustentar la estimación preliminar de volúmenes.
- Servir de base para la planificación de la explotación.

Figura 4-5
Esquema del modelo geológico del depósito



4.2.5.1 Alcance en pequeña minería

En pequeña minería, el modelo geológico debe:

- Integrar información topográfica detallada (1:1.000 o mayor).
- Representar límites laterales y verticales del depósito.
- Correlacionar perfiles estratigráficos.
- Incorporar resultados de laboratorio.
- Diferenciar dominios de calidad.
- Estimar espesores y volúmenes preliminares.

No requiere modelamiento tridimensional sofisticado, pero sí una integración coherente, verificable y documentada de la información disponible.

4.2.5.2 Componentes del modelo geológico

La construcción del modelo geológico integra la información obtenida durante la evaluación geológica regional y local, la caracterización del depósito y los resultados de la exploración directa y el muestreo. Esta integración permite representar de manera coherente la geometría, continuidad y variabilidad del depósito, proporcionando una base técnica para la evaluación preliminar de recursos y el planeamiento de la explotación.

La **Tabla 4-21** presenta los principales elementos que deben integrarse durante la elaboración del modelo geológico y la forma en que cada uno contribuye a la toma de decisiones en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 4-21
Elementos integrados en el modelo geológico

Elemento del modelo	Fuente de información	Producto integrado	Decisión que soporta
Geometría del depósito	Perfiles y levantamiento local	Modelo geométrico preliminar	Cálculo de volúmenes
Arquitectura interna	Caracterización sedimentaria	Esquema estratificado integrado	Secuencia de explotación
Dominios de calidad	Muestreo y análisis	Mapa de dominios	Control de producción
Continuidad lateral	Correlación entre perfiles	Interpretación espacial	Diseño de bancos
Control estructural	Registro local y regional	Ajuste geométrico	Estabilidad preliminar



La construcción del modelo geológico se desarrolla mediante una secuencia metodológica orientada a integrar e interpretar la información geológica recopilada durante las etapas previas. Este proceso permite consolidar la geometría del depósito, establecer la continuidad de las unidades geológicas, identificar la distribución espacial de la calidad del material y definir una representación técnica que sirva de base para la evaluación preliminar de recursos y el planeamiento de la explotación.

La **Tabla 4-22** presenta la secuencia metodológica recomendada para la construcción del modelo geológico en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.



Tabla 4-22

Secuencia metodológica para la construcción del modelo geológico

Etapas	Actividades recomendadas
1. Consolidación de la información	• Integrar la información geológica, topográfica, estratigráfica y de laboratorio obtenida durante las etapas previas. • Verificar la consistencia, integridad y trazabilidad de los datos disponibles. • Organizar la información de acuerdo con los productos requeridos para la construcción del modelo geológico.
2. Correlación geológica	• Correlacionar los perfiles estratigráficos y las unidades geológicas identificadas en el depósito. • Analizar la continuidad lateral y vertical de las unidades geológicas. • Verificar la coherencia de la interpretación entre los diferentes sectores evaluados.
3. Definición de la geometría del depósito	• Delimitar preliminarmente la geometría del depósito con base en la información recopilada. • Definir los límites laterales y verticales del material potencialmente explotable. • Validar que la interpretación geométrica sea consistente con la caracterización geológica del depósito.
4. Integración de la calidad del material	• Incorporar los resultados de laboratorio y las características geológicas relevantes al modelo. • Delimitar dominios con propiedades físicas y geológicas similares. • Representar espacialmente la distribución preliminar de la calidad del material.
5. Construcción y validación del modelo geológico	• Integrar la geometría del depósito, la continuidad geológica y la distribución de la calidad del material en un modelo geológico preliminar. • Verificar la coherencia del modelo frente a la información de campo, los resultados de laboratorio y la interpretación geológica. • Utilizar el modelo geológico como base para la evaluación preliminar de recursos y el planeamiento de la explotación.



Tabla 4-23.

Modelo geológico en pequeña minería

Uso del modelo	Nivel de influencia	Resultado esperado
Estimación preliminar de recursos	Alta	Volumen explotable coherente
Planeamiento de bancos	Alta	Secuencia lógica de explotación
Selección de zonas prioritarias	Alta	Optimización operativa
Soporte ante autoridad minera	Media – Alta	Sustentación técnica verificable
Gestión de riesgo técnico	Media	Reducción de incertidumbre

4.2.5.3 Representación aplicativa del modelo geológico

Como se ha señalado, el propósito del modelo geológico es integrar la información de geometría, organización interna del depósito, calidad del material y zonas de variabilidad, de manera que permita sustentar decisiones técnicas en pequeña minería (Ver Tabla 4-24).

Una forma práctica de comprender y visualizar lo que se espera obtener del modelo es mediante la identificación de sectores relativamente homogéneos dentro del depósito. Para ello, inicialmente se deben reconocer tres aspectos fundamentales:

- La geometría del cuerpo sedimentario (espesor y continuidad).
- La organización interna de los materiales (capas, intercalaciones, contactos).
- La calidad del material (granulometría, contenido de finos, propiedades físicas).

El propósito del modelo es facilitar decisiones. Una forma práctica de interpretar el modelo es organizar la información en una matriz inicial y luego traducirla en un esquema visual tipo semáforo.

Estos elementos pueden organizarse en una matriz como la representada en la **Tabla 4-24**.

Tabla 4-24.

Ejemplo de matriz de interpretación del modelo

Sector evaluado	Geometría	Organización interna	Calidad del material	Interpretación preliminar
Terraza central	Espesor continuo 4–5 m	Gravas medianas bien seleccionadas	Alta	Sector homogéneo y estable
Terraza lateral	Espesor variable 2–3 m	Intercalaciones finas	Media	Variabilidad moderada
Ladera coluvial	Discontinuo	Material heterométrico con finos	Baja	Alta heterogeneidad



Conceptos de la matriz

Geometría: evalúa continuidad y espesor.

Organización interna: identifica presencia de intercalaciones o cambios granulométricos.

Calidad del material: integra resultados granulométricos y contenido de finos.

Interpretación preliminar: conclusión técnica del sector.

Interpretación de la matriz

Una vez consolidada esta información, puede interpretarse de manera visual mediante un esquema tipo “semáforo”, que facilite la toma de decisiones operativas:

● **Verde:** Sectores con buena continuidad y alta calidad. Indican zonas prioritarias para explotación.

● **Amarillo:** Sectores con variabilidad moderada o presencia de finos. Requieren control adicional o muestreo complementario.

● **Rojo:** Sectores con baja calidad, alta heterogeneidad o restricciones técnicas. No se consideran prioritarios.

Por ejemplo, si un sector presenta espesor continuo, baja variabilidad y resultados granulométricos favorables, se clasificaría como ● verde, indicando condiciones técnicas adecuadas para la explotación inicial.

En cambio, si se detectan intercalaciones arcillosas y cambios abruptos de espesor, podría clasificarse como ● amarillo, lo que sugiere la necesidad de control adicional antes de su aprovechamiento.

Este tipo de representación no constituye una exigencia normativa, sino una herramienta que ejemplifica de manera práctica como se puede traducir la interpretación geológica en decisiones técnicas claras y coherentes con la escala de la pequeña minería.

Figura 4-6

Ejemplo esquema tipo “semáforo” modelo Geológico





Lista de chequeo – Modelo Geológico

Esta lista permite verificar que el modelo ya integra toda la información necesaria antes de estimar volúmenes preliminares.

- ❑ Geometría delimitada en plano
- ❑ Perfiles correlacionados
- ❑ Resultados de laboratorio integrados
- ❑ Dominios de calidad definidos
- ❑ Sectores prioritarios identificado
- ❑ Zonas de incertidumbre reconocidas
- ❑ Criterios de interpretación documentados

4.2.5.4 Resultados esperados

El modelo geológico debe permitir:

- Representar la geometría del depósito.
- Estimar espesores promedio.
- Calcular volúmenes preliminares.
- Identificar dominios de calidad.
- Definir sectores prioritarios de explotación.
- Sustentar técnicamente la estimación preliminar de recursos.

Estos productos no constituyen aún una estimación de reservas bajo estándares de mayor nivel, pero sí representan el insumo técnico fundamental para la planificación minera en pequeña minería, (Decreto 1666, 2016).

4.2.5.5 Recomendaciones

A continuación, en la **Tabla 4.25**, se presentan recomendaciones orientadas a la aplicación de buenas prácticas en la construcción del modelo geológico, con el propósito de garantizar una representación coherente, consistente y técnicamente sustentada del depósito. Estas recomendaciones enfatizan la integración de todas las fuentes de información, la correcta correlación de perfiles, la diferenciación de dominios de calidad y la documentación de criterios interpretativos, con el fin de reducir la incertidumbre, evitar errores en la estimación y fortalecer la confiabilidad del modelo para la toma de decisiones.

Con el fin de orientar la aplicación de la presente guía en los distintos procesos de formalización minera existentes en el país, se presenta a continuación en la **Tabla 4-26** una síntesis del nivel de información geológica y los productos técnicos esperados para pequeña minería según la figura de formalización aplicable. Esta comparación no mo-

Tabla 4-25

Lineamientos para la construcción del modelo geológico

Acción recomendada	Objetivo técnico	Riesgo si no se implementa
Integrar todas las fuentes de información disponibles	Construir modelo coherente	Interpretación parcial
Correlacionar perfiles antes de definir geometría final	Garantizar continuidad real	Error volumétrico
Diferenciar claramente dominios de calidad	Control técnico de explotación	Mezcla inadecuada
Representar contactos y superficies guía	Visualizar límites reales del depósito	Modelo simplificado en exceso
Documentar criterios y supuestos de interpretación	Trazabilidad metodológica	Observaciones en fiscalización
Evitar extrapolaciones sin soporte de campo	Reducir incertidumbre	Sobreestimación de recursos
Identificar zonas de mayor incertidumbre	Priorizar muestreo adicional	Riesgo técnico no controlado



difica las obligaciones normativas propias de cada instrumento jurídico, sino que permite comprender el alcance técnico mínimo esperado en el componente geológico para sustentar el planeamiento minero y la caracterización del depósito.



Tabla 4-26

Requerimientos de información geológica según figura de formalización minera

	Nivel de información geológica esperado	Productos geológicos mínimos	Objetivo dentro del proceso
Contrato de concesión minera	Nivel técnico completo acorde al instrumento técnico minero y al Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR) en los plazos normativos	Geología regional, geología local, caracterización del depósito, exploración directa y muestreo con QA/QC, modelo geológico del depósito, estimación preliminar de recursos, evaluación geotécnica	Sustentar técnica y económicamente el proyecto minero y permitir la planeación de la explotación
Subcontrato de formalización minera	Nivel técnico intermedio, suficiente para caracterizar el depósito y sustentar la operación minera formalizada	Geología regional básica, geología local detallada, caracterización del depósito, exploración directa mediante apiques o trincheras, muestreo representativo, estimación preliminar del volumen explotable	Validar técnicamente el depósito y garantizar que la operación formalizada tenga respaldo geológico básico
Áreas de Reserva Especial (ARE)	Nivel técnico progresivo orientado inicialmente a caracterización del área y posterior estructuración del proyecto	Geología regional del área, geología local preliminar, caracterización básica del depósito, reconocimiento de sectores con potencial, muestreo inicial exploratorio	Sustentar técnicamente la delimitación del área y orientar el proceso de formalización de los mineros tradicionales
Devolución de área para formalización	Nivel técnico básico que permita justificar el potencial del área a ser formalizada	Geología regional, identificación de unidades litológicas favorables, reconocimiento geomorfológico del área, evidencia preliminar de material explotable	Justificar técnicamente la viabilidad del área que se destina a procesos de formalización minera
Minería tradicional en proceso de formalización	Nivel técnico progresivo adaptado a las condiciones reales de la operación existente	Geología regional simplificada, geología local del frente de explotación, descripción del depósito, verificación de espesores, muestreo básico	Reconocer técnicamente el depósito que sustenta la actividad minera existente y facilitar su transición hacia la formalidad

4.2.6 Estimación de recursos

La estimación de recursos corresponde a la primera cuantificación técnica del volumen de material aprovechable presente en el depósito. Su finalidad no es únicamente calcular un número, sino transformar el modelo geológico en una base objetiva para el planeamiento minero.

En pequeña minería de materiales de construcción, esta estimación debe ser: técnica, realista, documentada y coherente con la información disponible.

No se trata de sobreestimar volúmenes, sino de reducir incertidumbre y permitir decisiones operativas responsables.

Esta estimación se construye integrando:

- Geometría del depósito (espesores y límites)
- Dominios sedimentarios
- Propiedades físicas del material
- Resultados del muestreo y QA/QC

El resultado debe ser una cifra realista, técnicamente sustentada y documentada, útil para el planeamiento minero.



4.2.6.1 Perspectivas razonables de explotación

Antes de presentar una estimación de recursos, es importante verificar que el material identificado en el depósito presenta perspectivas razonables de explotación. Este concepto hace referencia a la evaluación preliminar que permite establecer si el material identificado podría ser explotado de manera realista bajo condiciones técnicas, operativas y territoriales viables.

El concepto es ampliamente utilizado en estándares internacionales de reporte de recursos minerales, como los establecidos por CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards) y códigos asociados como JORC y NI 43-101, los cuales establecen que la estimación de recursos debe sustentarse en escenarios plausibles de explotación.

En pequeña minería, esta evaluación no corresponde a un estudio de factibilidad, sino a una revisión técnica básica que permita determinar si el depósito reúne condiciones mínimas para sustentar decisiones de planeamiento minero y evitar sobreestimaciones del volumen potencialmente aprovechable.

Tabla 4-27

Criterios básicos para verificar perspectivas razonables de explotación

Aspecto evaluado	Qué se revisa	Aplicación práctica en pequeña minería
Geometría del depósito	Espesor, continuidad lateral y forma del cuerpo sedimentario o mineralizado	Permite verificar si el material tiene volumen suficiente y continuidad para ser explotado de manera operativa
Calidad del material	Granulometría, contenido de finos, pureza o características físicas del material	Determina si el material cumple con las condiciones mínimas para su uso o comercialización
Condiciones geotécnicas	Estabilidad del sustrato, grado de fracturamiento o cohesión del material	Permite evaluar si es posible desarrollar taludes y bancos de manera segura
Accesibilidad	Acceso al área, topografía y condiciones del terreno	Verifica si el depósito puede ser alcanzado con maquinaria o métodos de explotación
Condiciones hidrogeológicas	Presencia de agua, saturación del material o drenaje natural	Permite anticipar posibles dificultades operativas o necesidad de drenaje
Restricciones ambientales y territoriales	Áreas protegidas, zonas de exclusión o restricciones normativas	Permite identificar limitaciones que podrían impedir o condicionar la explotación

Nota. Adaptado de CRIRSCO (2019) – International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves con los principios de evaluación técnica de depósitos establecidos en la Ley 685 de 2001 (Código de Minas).

4.2.6.2. Enfoques aplicables para la estimación de recursos

La estimación de recursos en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción puede abordarse mediante diferentes enfoques, cuyo nivel de detalle depende de la información geológica disponible y del grado de avance del proyecto. Estos enfoques representan una secuencia progresiva de desarrollo, en la que el incremento de la información obtenida durante la exploración y la caracterización del depósito permite mejorar la confiabilidad de las estimaciones.

La **Tabla 4-28** presenta los enfoques aplicables para la estimación de recursos, destacando sus principales características, requerimientos de información y alcance dentro del proceso de evaluación del depósito.



Tabla 4-28

Enfoques aplicables para la estimación de recursos en pequeña minería (ECRR).

Enfoque 1. Estimación preliminar de recursos (sin aplicación formal del ECRR)	Enfoque 2. Estimación de recursos conforme al ECRR
Corresponde a la etapa inicial del proyecto minero, cuando el propósito es obtener una estimación preliminar del volumen o tonelaje del depósito como soporte para el planeamiento de la explotación y la evaluación técnica del proyecto.	Corresponde a una etapa más avanzada del proyecto, en la que la información geológica disponible permite realizar la estimación y clasificación de recursos de conformidad con el Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales (ECRR) vigente.
Aplica cuando: • El proyecto se encuentra en una fase inicial de exploración. • La información geológica disponible es limitada. • Se requiere una estimación preliminar para sustentar el instrumento técnico de planeamiento. • Aún no es exigible la presentación de recursos conforme al ECRR.	Aplica cuando: • Se dispone de una mayor densidad y calidad de información geológica. • El proyecto avanza hacia etapas de formalización o reporte oficial. • Debe cumplirse con los requerimientos establecidos en el ECRR vigente. • Se han implementado procedimientos documentados de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC).
Características: • El recurso se expresa en volumen (m³) o tonelaje (t). • No se realiza la clasificación en recursos Medidos, Indicados o Inferidos. • No se aplican factores modificadores para la estimación de reservas. • La estimación se reconoce expresamente como preliminar y está sujeta a actualización conforme avance el conocimiento geológico del depósito.	Características: • Los recursos pueden clasificarse de acuerdo con el nivel de confianza geológica establecido en el ECRR. • Recurso Medido: alto grado de confianza geológica, sustentado por información suficiente y de buena calidad. • Recurso Indicado: confianza geológica razonable, con información suficiente para soportar el planeamiento minero preliminar. • Recurso Inferido: confianza geológica limitada, basada en evidencia geológica y continuidad asumida con un mayor nivel de incertidumbre.
Aplicación práctica: Constituye una herramienta para apoyar la toma de decisiones durante las etapas iniciales del proyecto y orientar las actividades posteriores de exploración y caracterización del depósito.	Aplicación práctica: Permite elaborar reportes públicos de recursos conforme al ECRR y constituye la base técnica para la evaluación de reservas y la planificación detallada de la explotación.



4.2.6.3 Integración del modelo geológico para el cálculo del recurso

Este apartado explica cómo transformar el modelo geológico en una estimación cuantitativa. No es un ejercicio matemático aislado, sino la integración ordenada de información geométrica, sedimentaria y física.

Tabla 4-29

Secuencia metodológica para la estimación preliminar de recursos

Etapas	Actividades recomendadas
1. Consolidación de la información	• Integrar la información geológica, topográfica, estratigráfica y de laboratorio disponible. • Verificar la consistencia, integridad y trazabilidad de los datos que soportarán la estimación. • Delimitar preliminarmente el cuerpo potencialmente explotable.
2. Definición de dominios de estimación	• Identificar áreas o dominios geológicos con características similares. • Analizar la continuidad lateral y vertical del depósito. • Definir los espesores representativos para cada dominio.
3. Estimación del volumen	• Seleccionar el método de cálculo más apropiado según la información disponible (secciones, polígonos, áreas de influencia u otro procedimiento técnico). • Calcular el volumen preliminar del depósito utilizando las variables geométricas definidas.
3. Estimación del volumen	• Seleccionar el método de cálculo más apropiado según la información disponible (secciones, polígonos, áreas de influencia u otro procedimiento técnico). • Calcular el volumen preliminar del depósito utilizando las variables geométricas definidas. • Verificar la coherencia de los resultados obtenidos.
4. Conversión a tonelaje (cuando aplique)	• Incorporar la densidad aparente u otros parámetros físicos determinados mediante ensayos o información técnica confiable. • Estimar el tonelaje del depósito cuando el proyecto requiera expresar el recurso en unidades de masa. • Documentar las hipótesis y parámetros utilizados.



5. Evaluación de la incertidumbre	• Identificar las principales fuentes de incertidumbre asociadas a la información disponible. • Evaluar la influencia de la densidad de datos, la continuidad geológica y la representatividad del muestreo sobre la estimación. • Registrar las limitaciones del modelo y de la estimación realizada.
6. Integración de la estimación preliminar de recursos	• Consolidar los resultados de la estimación en términos de volumen (m³) o tonelaje (t), según corresponda. • Documentar la metodología empleada, las hipótesis adoptadas y el nivel de confianza de la estimación.

4.2.6.4 Ajustes por calidad y parámetros físicos

El volumen bruto del depósito no equivale al volumen aprovechable. Para obtener un recurso realista, deben aplicarse ajustes técnicos derivados de las propiedades físicas del material.

Estos ajustes se basan en los resultados de muestreo y laboratorio, y permiten descontar el material que no cumple condiciones mínimas de uso constructivo.

Los principales parámetros que condicionan el ajuste son:

- Granulometría (compatibilidad con uso previsto).
- Porcentaje de finos (exceso de limos o arcillas).
- Materiales no deseables (orgánicos, arcillosos, alterados).
- Humedad natural.
- Durabilidad y resistencia.

Antes de aplicar los factores de recuperación, es necesario organizar la información por dominios sedimentarios y verificar que los resultados de laboratorio sean representativos del material observado en campo. El ajuste debe realizarse de manera diferenciada, evitando aplicar un único porcentaje general al depósito completo. El objetivo es que

el volumen final refleje la calidad real del material disponible.

1. Calcular volumen bruto.	2. Segmentar por dominios sedimentarios.
3. Revisar resultados de laboratorio por dominio.	4. Definir factor de recuperación por dominio.
5. Aplicar el factor al volumen bruto.	

El factor de recuperación debe estar sustentado en ensayos representativos y coherente con el modelo geológico. Si la información es limitada, el ajuste debe ser conservador.

El objetivo es obtener un volumen utilizable técnicamente defendible para el planeamiento minero.

Ejemplo práctico de ajuste por calidad

Volumen bruto del depósito: 120.000 m³

Del análisis por dominios se identifica:

- 15 % con exceso de finos (no cumple especificación para agregado estructural).



- 10 % con material no apto (intercalaciones arcillosas y niveles orgánicos).
- Total material no aprovechable estimado: 25 %

Se aplica un factor de recuperación de 0,75:

$$120.000 \text{ m}^3 \times 0,75 = 90.000 \text{ m}^3$$

Esto significa que, aunque geométricamente existen 120.000 m³, solo 90.000 m³ cumplen condiciones técnicas de aprovechamiento.

Este ajuste evita sobreestimar el recurso y permite planificar la explotación con cifras realistas.

Formato básico de estimación preliminar

Este formato permite organizar la información utilizada en el cálculo, garantizando trazabilidad y transparencia técnica.

Tabla 4-30

Formato básico de estimación



Parámetro	Valor	Fuente	Observación
Área del depósito	30.000 m ²	Topografía 1:1.000	Delimitación SIG
Espesor promedio	3,5 m	Perfiles correlacionados	12 apiques
Volumen bruto	105.000 m ³	Cálculo volumétrico	TIN
Factor recuperación	0,80	Ensayos granulométricos	Ajuste por finos
Volumen utilizable	84.000 m ³	Resultado ajustado	—
Incertidumbre	±20 %	Densidad datos	Espaciamiento 25 m

Lista de chequeo – Estimación de recursos

La siguiente lista permite verificar que la estimación de recursos esté técnicamente sustentada y no corresponda únicamente a un cálculo volumétrico general. Su propósito es asegurar que el resultado final tenga respaldo geológico, coherencia metodológica y trazabilidad documental. Antes de cerrar el capítulo de estimación, se recomienda validar cada uno de los siguientes puntos.

Antes de cerrar la estimación, verificar:

- ☐ Límites del depósito claramente definidos
- ☐ Espesores sustentados en perfiles reales
- ☐ Segmentación por dominios realizada
- ☐ Factores de recuperación justificados
- ☐ Volumen bruto y utilizable diferenciados
- ☐ Incertidumbre expresada
- ☐ Supuestos documentados
- ☐ Fuentes y métodos registrados



Esta lista permite verificar que la estimación no sea solo un cálculo numérico, sino un proceso técnico documentado.

4.2.6.5 Recomendaciones

La estimación preliminar de recursos constituye una herramienta para apoyar el planeamiento minero y la toma de decisiones durante las primeras etapas del proyecto. Su objetivo es obtener resultados técnicamente sustentados y acordes con el nivel de conocimiento geológico disponible, evitando tanto la sobreestimación como la subestimación del depósito.

Se recomienda aplicar las siguientes buenas prácticas:

- Basar la estimación únicamente en información geológica y de muestreo debidamente verificada.
- Evitar extrapolar espesores o continuidad del depósito cuando no exista evidencia suficiente que los respalde.
- Diferenciar claramente el volumen bruto del volumen potencialmente explotable, indicando los criterios utilizados para su delimitación.
- Documentar las hipótesis, parámetros y metodología empleados durante la estimación.
- Expresar de manera explícita el nivel de incertidumbre asociado a los resultados obtenidos.
- Registrar el software, las herramientas y los procedimientos utilizados durante el procesamiento de la información.

Verificar que la estimación sea coherente con el modelo geológico y con la información obtenida durante la exploración directa y el muestreo.

Ejemplo de aplicación de buenas prácticas

Durante la evaluación de un depósito aluvial se identificaron tres dominios geológicos con diferencias en espesor, granulometría y contenido de finos. En lugar de aplicar un espesor promedio para

todo el depósito, la estimación de recursos se realizó de manera independiente para cada dominio geológico, utilizando la información obtenida durante la exploración directa y el muestreo.

Este procedimiento permitió representar de forma más adecuada la variabilidad del depósito, reducir la incertidumbre asociada a la estimación y obtener un resultado técnicamente consistente para respaldar el planeamiento de la explotación y la evaluación preliminar del proyecto.

4.2.7 Estudio geotécnico

La geotecnia en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción permite evaluar las condiciones de estabilidad del depósito, del sustrato y de los taludes proyectados, con el propósito de establecer condiciones seguras para el desarrollo de la explotación. El comportamiento geotécnico depende de factores como el tipo de material, las características del basamento, el grado de fracturamiento, la inclinación de las estructuras geológicas y las condiciones de drenaje y humedad presentes en el área de explotación.

4.2.7.1 Alcance en pequeña minería

En proyectos de pequeña minería de materiales de construcción, el estudio geotécnico debe:

- Reconocer el tipo de sustrato (roca competente, fracturada, inclinada).
- Evaluar condiciones de drenaje y humedad
- Identificar zonas con riesgo potencial de falla.
- Definir alturas máximas de banco y ángulos de talud preliminares.
- Establecer restricciones operativas básicas.

No se requieren modelaciones numéricas avanzadas, pero sí criterios técnicos claros y documentados.

En la **Tabla 431** se resumen las principales condiciones geotécnicas que pueden presentarse en



el sustrato y el depósito, junto con su comportamiento esperado y las implicaciones operativas y de seguridad que deben considerarse durante la planificación y ejecución de la explotación.

Tabla 4-31

Condiciones geotécnicas y criterios para el planeamiento de la explotación en pequeña minería

Condición geotécnica	Comportamiento esperado	Riesgos asociados	Recomendaciones para el planeamiento y la explotación
Roca competente y masiva	Presenta alta resistencia y buena estabilidad.	Bajo riesgo de inestabilidad si se mantienen condiciones normales de operación.	Permite diseñar bancos de mayor altura y accesos estables, manteniendo inspecciones periódicas del macizo rocoso.
Roca fracturada o intensamente diaclasada	La presencia de discontinuidades disminuye la estabilidad del macizo.	Caída de bloques, desprendimientos localizados e inestabilidad de taludes.	Reducir la altura de los bancos, aumentar el ancho de las bermas e inspeccionar permanentemente las zonas fracturadas.
Sustrato con estratos inclinados hacia el frente de explotación	Las superficies de estratificación pueden comportarse como planos potenciales de deslizamiento.	Deslizamientos planares o movimientos de masa.	Ajustar la orientación de la explotación, disminuir el ángulo de los taludes y realizar seguimiento continuo a la estabilidad.
Basamento irregular	El espesor del material explotable presenta variaciones significativas.	Sobreexcavación, pérdidas de material y cambios inesperados durante la explotación.	Actualizar periódicamente el modelo geológico y ajustar el avance de la explotación de acuerdo con las condiciones observadas en campo.
Material con buen drenaje (alta permeabilidad)	Favorece la infiltración del agua y reduce la acumulación de presión de poros.	Erosión localizada en materiales finos o sueltos.	Mantener sistemas de drenaje superficial y controlar procesos erosivos durante la operación.
Material saturado o con drenaje deficiente	Disminuye la resistencia al corte y aumenta la susceptibilidad a deformaciones o deslizamientos.	Inestabilidad de taludes, pérdida de capacidad portante y riesgo para el personal y los equipos.	Implementar medidas de drenaje antes de iniciar la explotación, restringir las actividades en sectores saturados y realizar monitoreo permanente de las condiciones de humedad.
Presencia de agua superficial o nivel freático cercano	Incrementa la presión de poros y modifica las condiciones de estabilidad del depósito.	Inundaciones, erosión e inestabilidad de excavaciones y taludes.	Diseñar y mantener sistemas de drenaje, controlar el manejo de aguas y reevaluar las condiciones geotécnicas durante la operación.

La evaluación geotécnica preliminar permite identificar las condiciones del sustrato, del depósito y del entorno que pueden influir en la estabilidad de la explotación. Su aplicación facilita la definición de criterios operativos relacionados con el diseño preliminar de bancos y taludes, el manejo de aguas y

la identificación de sectores con restricciones para la explotación.

La Tabla 4-32 presenta una secuencia metodológica recomendada para la evaluación geotécnica preliminar en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.



Tabla 4-32

Secuencia metodológica para la evaluación geotécnica preliminar

Etapas	Actividades recomendadas
1. Reconocimiento del sustrato	• Identificar el tipo de roca o material que conforma el sustrato. • Evaluar el grado de fracturamiento o alteración del macizo rocoso. • Determinar la orientación e inclinación de las estructuras geológicas, cuando sea aplicable.
2. Caracterización geotécnica del depósito	• Evaluar las características geotécnicas del material explotable, incluyendo cohesión aparente, granulometría y continuidad. • Identificar cambios litológicos o intercalaciones de materiales con menor resistencia. • Registrar evidencias de procesos de inestabilidad observados en campo.
3. Evaluación de las condiciones hidrogeológicas	• Identificar sectores con presencia de agua superficial o saturación. • Evaluar las condiciones de drenaje natural y la permeabilidad del material. • Reconocer factores que puedan afectar la estabilidad de los taludes y del frente de explotación.
4. Definición de criterios operativos	• Establecer alturas preliminares de banco y ángulos de talud acordes con las condiciones observadas. • Delimitar sectores con restricciones para la explotación. • Definir medidas básicas de drenaje, seguimiento y control para reducir el riesgo de inestabilidad.

Matriz básica de evaluación geotécnica

Esta herramienta permite organizar de manera práctica las condiciones observadas y traducirlas en decisiones operativas (Ver Tabla 4-33) No reemplaza análisis especializados, pero facilita el planeamiento seguro.

Tabla 4-33

Matriz básica de evaluación geotécnica

Condición observada	Comportamiento geotécnico esperado	Nivel de riesgo	Medida recomendada
Roca masiva competente	Alta resistencia y buena capacidad de soporte.	Bajo	Permite diseñar bancos de mayor altura y mantener condiciones normales de operación, con inspecciones periódicas.
Roca muy fracturada	Disminución de la estabilidad y posible desprendimiento de bloques.	Alto	Reducir la altura de los bancos, suavizar los taludes, ampliar las bermas y realizar seguimiento permanente de la estabilidad.
Sustrato inclinado	Posible desarrollo de superficies de deslizamiento a favor de la pendiente.	Medio – Alto	Ajustar la orientación del frente de explotación, disminuir el ángulo de los taludes y controlar el avance de la explotación.
Zona saturada o con drenaje deficiente	Disminución de la resistencia del material y aumento de la probabilidad de falla.	Alto	Implementar medidas de drenaje antes de iniciar la explotación y restringir temporalmente las actividades en los sectores afectados.



Interpretación de la matriz de evaluación geotécnica

La matriz de evaluación geotécnica permite relacionar las condiciones observadas en campo con el comportamiento esperado del terreno y las medidas operativas que deben adoptarse durante el planeamiento de la explotación. Su aplicación facilita la identificación temprana de riesgos geotécnicos y contribuye a definir acciones preventivas para reducir la probabilidad de inestabilidad.

La interpretación de las principales condiciones geotécnicas es la siguiente:

- **Roca competente:** Presenta alta resistencia y buena capacidad de soporte, permitiendo el desarrollo de la explotación bajo condiciones normales de operación y el tránsito seguro de maquinaria, siempre que se mantenga un monitoreo periódico.
- **Roca fracturada:** La presencia de discontinuidades incrementa la probabilidad de desprendimiento de bloques y reduce la estabilidad de los taludes. En estos casos, se recomienda disminuir la altura de los bancos, suavizar la inclinación de los taludes y realizar inspecciones frecuentes.
- **Sustrato inclinado:** Puede comportarse como una superficie potencial de deslizamiento cuando la orientación de las estructuras geológicas favorece la inestabilidad. Se recomienda limitar la altura de los bancos y ajustar la geometría de la explotación de acuerdo con las condiciones observadas.
- **Zona saturada o con drenaje deficiente:** La presencia de agua reduce la resistencia del material y aumenta el riesgo de inestabilidad. Antes de continuar la explotación, deben implementarse medidas de drenaje y verificarse nuevamente las condiciones geotécnicas del sector.

Herramienta complementaria: Semáforo geotécnico

Como complemento de la matriz de evaluación geotécnica, se propone el uso de un **semáforo geotécnico**, herramienta práctica que facilita la

clasificación rápida de las condiciones del terreno y orienta la toma de decisiones durante el desarrollo de la explotación.

- **Condición verde (estable):** Corresponde a sectores donde se observa roca competente o materiales con buen comportamiento geotécnico, continuidad del depósito, drenaje adecuado y ausencia de fracturamiento significativo. En estas condiciones, la explotación puede desarrollarse conforme a los parámetros establecidos en el planeamiento, manteniendo las alturas de banco, los ángulos de talud y los accesos previstos.
- **Condición amarilla (condicionada):** Se presenta cuando existen fracturas moderadas, variaciones en el espesor del depósito, presencia ocasional de humedad o cambios en la geometría del basamento que podrían afectar la estabilidad. En estos casos, se recomienda aplicar medidas preventivas como reducir la altura de los bancos, suavizar los taludes, ampliar las bermas, mejorar el drenaje y reforzar el monitoreo geotécnico durante la operación.
- **Condición roja (restringida):** Corresponde a sectores donde se identifican materiales saturados, superficies potenciales de deslizamiento, pérdida de cohesión, movimientos de masa o cualquier otra condición que represente un riesgo alto para la estabilidad. En estas circunstancias, la explotación debe suspenderse temporalmente hasta implementar medidas correctivas, tales como sistemas de drenaje, control de aguas, estabilización del terreno o rediseño del frente de explotación. Si las condiciones de riesgo persisten, el sector deberá considerarse no apto para la explotación.

El semáforo geotécnico constituye una herramienta de apoyo para la gestión del riesgo en pequeña minería, permitiendo traducir la evaluación técnica en decisiones operativas oportunas que contribuyan a desarrollar una explotación más segura y técnicamente sustentada.



Figura 4-7

Ejemplo esquema tipo “semáforo” estudio geotécnico



Lista de chequeo – Geotecnia

Esta lista permite verificar que el componente geotécnico no se haya omitido o tratado superficialmente. Antes de definir el diseño operativo, validar los siguientes puntos:

- ☐ Tipo de sustrato identificado
- ☐ Fracturamiento evaluado visualmente
- ☐ Inclinação del basamento verificada
- ☐ Condiciones de drenaje evaluadas
- ☐ Zonas saturadas identificadas
- ☐ Altura de banco definida
- ☐ Ángulo de talud preliminar establecido
- ☐ Restricciones operativas documentadas

Esta lista asegura que el planeamiento considere estabilidad y seguridad desde el inicio.

4.2.7.2 Recomendaciones

A continuación, en la **Tabla 4-34**, se presentan recomendaciones orientadas a la aplicación de buenas prácticas geotécnicas en pequeña minería, enfocadas en la evaluación y control de las condiciones del terreno durante la operación. Estas recomendaciones promueven la identificación oportuna de factores de inestabilidad, el monitoreo continuo del macizo rocoso y materiales sueltos, el control de agua y la adaptación del diseño minero a las condiciones reales del depósito, con el fin de prevenir fallas, reducir riesgos operativos y garantizar la seguridad en los frentes de explotación



Tabla 4-34
para la evaluación geotécnica en pequeña minería

Acción recomendada	Objetivo técnico	Riesgo si no se implementa
Evaluar las condiciones del terreno antes de abrir nuevos frentes de explotación	Identificar factores que puedan afectar la estabilidad del material o del macizo	Apertura de frentes en zonas inestables
Evitar taludes excesivamente inclinados en materiales sueltos o poco consolidados	Mantener condiciones de estabilidad adecuadas en arenas, gravas o materiales meteorizados	Deslizamientos o caída de material
Controlar la acumulación de agua en frentes y bancos de explotación	Reducir la pérdida de resistencia del material por saturación	Inestabilidad de taludes y erosión del frente
Monitorear sectores con alto grado de fracturamiento o discontinuidades	Detectar posibles liberaciones de bloques o fallas locales	Caída de bloques o inestabilidad localizada
Ajustar progresivamente el diseño de bancos según el comportamiento del terreno	Adaptar el diseño minero a las condiciones reales del depósito	Diseño rígido que no responde a las condiciones geológicas
Mantener registro de observaciones geotécnicas durante la operación	Documentar cambios en la estabilidad del terreno	Pérdida de información útil para decisiones operativas
Integrar las observaciones geotécnicas al planeamiento minero	Asegurar coherencia entre geología, estabilidad y diseño de explotación	Planeamiento basado únicamente en geometría

Ejemplo de buena práctica

En una cantera de roca utilizada para la producción de agregados, el reconocimiento geológico y geotécnico de campo identifica sectores con diferentes grados de fracturamiento del macizo rocoso. En algunas zonas la roca se presenta masiva y competente, mientras que en otras se observan planos de fractura y niveles más meteorizados.

Aunque la roca competente permite desarrollar frentes relativamente estables, las zonas con mayor fracturamiento pueden comportarse como superficies potenciales de inestabilidad, especialmente cuando los planos estructurales están orientados hacia el frente de explotación.

A partir de esta observación, el diseño de explotación establece:

- Bancos de menor altura en sectores con mayor grado de fracturamiento.

- Taludes ligeramente más tendidos en zonas con roca meteorizada.
- Monitoreo periódico de bloques sueltos en el frente de explotación.

Estas medidas permiten mantener condiciones adecuadas de estabilidad en la cantera y reducir el riesgo de caída de bloques o inestabilidad local durante las operaciones de extracción.

4.3 Definición del método de explotación

4.3.1 Selección preliminar del método de explotación

La selección preliminar del método de explotación corresponde al proceso mediante el cual se define la alternativa de extracción más adecuada para el aprovechamiento del depósito, considerando



de manera integrada las características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y operativas del proyecto. Su propósito es establecer un sistema de explotación técnicamente viable que garantice condiciones apropiadas de seguridad, estabilidad, recuperación del recurso y eficiencia operacional.

En proyectos de pequeña minería de materiales de construcción, esta etapa no comprende el diseño detallado de la explotación, sino la identificación del método que mejor se adapta a las condiciones del yacimiento, teniendo en cuenta la geometría del depósito, el espesor explotable, la continuidad del material, las condiciones topográficas, el comportamiento geotécnico y las restricciones identificadas durante la evaluación del área.

La información obtenida durante la evaluación geológica, la caracterización del depósito, la exploración directa, el muestreo, la construcción del modelo geológico y la estimación preliminar de recursos constituye el principal insumo para la selección del método de explotación, ya que permite comprender la distribución espacial del material, su continuidad, calidad, comportamiento geotécnico y potencial de aprovechamiento.

4.3.2 Criterios generales para la selección del método de explotación

La selección preliminar del método de explotación debe fundamentarse en el análisis integrado de las condiciones geológicas, geotécnicas, geomorfológicas y operativas del proyecto. Para ello, es necesario evaluar aspectos como la geometría del depósito, el espesor explotable, la continuidad lateral del material, la topografía, la presencia de agua, las características geotécnicas del terreno, el tipo de material y la escala de producción prevista. La integración de estos criterios permite seleccionar el método de explotación que ofrece las mejores condiciones de seguridad, estabilidad, recuperación del recurso, eficiencia operacional y sostenibilidad durante el desarrollo del proyecto.

La **Tabla 4-35** presenta los principales criterios técnicos que deben considerarse para la selección preliminar del método de explotación en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

Tabla 4-35

Criterios generales para la selección preliminar del método de explotación

Condición del depósito	Método de explotación recomendado	Justificación técnica
Depósito horizontal o subhorizontal con espesor uniforme	Bancos descendentes	Facilita el aprovechamiento progresivo del material, mantiene estabilidad y optimiza la recuperación del depósito.
Depósitos aluviales de arenas y gravas	Explotación por terrazas	Permite controlar la estabilidad de los taludes, el manejo de aguas y el avance ordenado de la explotación.
Canteras de roca masiva o moderadamente fracturada	Bancos escalonados	Favorece la estabilidad del macizo rocoso, facilita las labores de extracción y mejora las condiciones de seguridad.
Depósitos de pequeña extensión o espesor reducido	Explotación por franjas o sectores sucesivos	Permite una explotación gradual, reduce movimientos innecesarios de material y facilita el control operacional.
Depósitos con alta variabilidad geológica	Explotación secuencial por sectores	Facilita ajustar el avance de la explotación conforme se obtiene nueva información geológica del depósito.



La selección preliminar del método de explotación constituye un ejercicio de planeación que deberá ser validado y ajustado durante la etapa de diseño de mina, considerando las condiciones particulares del yacimiento y los resultados de los estudios técnicos desarrollados para el proyecto.

4.3.3. Fundamentos para la selección del método de explotación

La selección preliminar del método de explotación se fundamenta en la integración de la información obtenida durante la evaluación geológica, la construcción del modelo geológico, la estimación preliminar de recursos y la evaluación geotécnica del depósito. Estos insumos permiten comprender la geometría, continuidad, calidad del material, condiciones de estabilidad y restricciones operativas que deben considerarse durante el planeamiento de la explotación.

El modelo geológico constituye el principal soporte para este proceso, ya que integra la distribución espacial del depósito y facilita la identificación de los sectores con mayor potencial de aprovechamiento, las zonas con restricciones geotécnicas y las condiciones que pueden influir en la selección del sistema de extracción. Con base en esta información es posible definir una secuencia preliminar de explotación coherente con las características reales del yacimiento.

La **Figura 4-8** presenta el proceso general para la selección preliminar del método de explotación, mostrando la relación entre la información geológica, la evaluación geotécnica y el planeamiento minero.

Figura 4-8
Proceso general para la selección preliminar del método de explotación



Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación

Antes de seleccionar el método de explotación, es recomendable verificar que se dispone de la información técnica necesaria para sustentar esta decisión. La siguiente lista de verificación facilita la revisión de los principales aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos y operativos que deben evaluarse para garantizar que el método seleccionado sea consistente con las características del depósito y con las condiciones previstas para su aprovechamiento.

La **Tabla 4-36** presenta una lista de verificación recomendada para la selección preliminar del método de explotación en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.



Tabla 4-36

Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación

Aspecto por verificar	Sí	No
Tipo de depósito identificado	☐	☐
Geometría del depósito caracterizada	☐	☐
Espesor explotable definido	☐	☐
Continuidad del material evaluada	☐	☐
Condiciones geotécnicas analizadas	☐	☐
Topografía del terreno evaluada	☐	☐
Modelo geológico elaborado	☐	☐
Estimación preliminar de recursos realizada	☐	☐

La selección preliminar del método de explotación constituye el enlace entre el conocimiento geológico del depósito y el diseño de mina. Su propósito es orientar el desarrollo del planeamiento minero, garantizando que el sistema de explotación seleccionado responda a las características reales del yacimiento y sirva como base para el diseño geométrico, operacional y de seguridad de la explotación.



5. DISEÑO DE MINA

104

El diseño de mina corresponde al proceso técnico mediante el cual se define la configuración geométrica de la explotación, estableciendo la ubicación, dimensiones y secuencia de desarrollo de los diferentes elementos que conforman la operación minera, con el propósito de garantizar un aprovechamiento seguro, eficiente y técnicamente viable del recurso mineral.

En minería de pequeña escala de materiales de construcción, el diseño de mina se fundamenta en la información obtenida durante la evaluación geológica, la estimación de recursos, la evaluación geotécnica y la selección del método de explotación. Estos insumos permiten definir parámetros como la geometría del tajo, la altura de los bancos, los ángulos de los taludes, las rampas de acceso, los sistemas de drenaje y la secuencia preliminar de explotación.



La **Figura 5-1** presenta los principales elementos geométricos considerados en el diseño de una explotación a cielo abierto, incluyendo los bancos, las bermas, los taludes y las rampas de acceso, los cuales deben definirse de acuerdo con las condiciones geológicas, geotécnicas y operativas del proyecto.

Figura 5-1

Parámetros principales del diseño minero a cielo abierto.



5.1. Consideraciones geotécnicas

La evaluación geotécnica desarrollada durante la etapa de caracterización del depósito constituye uno de los principales insumos para el diseño de mina. Sus resultados permiten definir parámetros geométricos que garanticen la estabilidad de la explotación y reduzcan la probabilidad de fallas durante la operación.

5.1.1. Parámetros geotécnicos para tener en cuenta

Los parámetros geotécnicos constituyen la base para definir las condiciones de estabilidad y seguridad durante el diseño de una explotación a cielo abierto. Su evaluación permite establecer criterios técnicos para el dimensionamiento de bancos, taludes, bermas y rampas, así como identificar las principales restricciones que pueden afectar el desarrollo de la operación minera.



La Tabla 5-1 presenta los principales parámetros geotécnicos que deben considerarse durante el diseño de mina y su influencia en la planificación y ejecución de la explotación de materiales de construcción.

Tabla 5-1
principales parámetros geotécnicos en el diseño de mina

Parámetro	Importancia para el diseño
Resistencia del material	Define alturas de banco y ángulos de talud.
Discontinuidades	Identifican planos potenciales de falla.
Diseño de taludes	Establece condiciones de estabilidad.
Análisis de estabilidad	Evalúa mecanismos de falla y medidas preventivas.

La **Figura 5-2** presenta los principales factores geomecánicos que deben evaluarse durante el diseño de mina, mostrando cómo las propiedades del macizo rocoso y la orientación de las discontinuidades influyen en la estabilidad de los taludes y en la definición de los parámetros geométricos de la explotación.

5.2. Consideraciones hidrogeológicas

Las condiciones hidrogeológicas del área de explotación influyen directamente en la estabilidad de los taludes, el comportamiento del macizo rocoso, la operación de la mina y el manejo ambiental del proyecto. Por esta razón, el diseño debe incorporar medidas para controlar las aguas superficiales y subterráneas, reducir los procesos de erosión y garantizar condiciones adecuadas de seguridad durante la explotación.

Figura 5-2
Análisis de estabilidad y factores geomecánicos en el diseño minero.





5.2.1. Objetivo y relación con el planeamiento

En el manejo de aguas constituye un componente esencial del diseño de mina, ya que permite preservar la estabilidad de la explotación y garantizar la continuidad de las operaciones. En minería de materiales de construcción, este manejo debe orientarse a:

- Controlar la escorrentía sobre taludes, bancos y pisos de mina.
- Evitar inundaciones en el fondo del tajo.
- Reducir la carga de sedimentos en las aguas descargadas.

Recomendaciones

Recomendación	Finalidad
Incorporar el manejo de aguas desde el diseño	Reducir riesgos operacionales.
Adaptar las obras de drenaje a la topografía	Mejorar la evacuación de aguas lluvias.
Coordinar el drenaje con el cierre progresivo	Favorecer la estabilidad y recuperación del área.

5.2.2. Caracterización de aguas superficiales y subterráneas

La caracterización hidrogeológica permite identificar las fuentes de agua que pueden afectar la explotación y definir las medidas necesarias para su manejo durante la operación minera.

En la minería a cielo abierto de materiales de construcción, el agua proviene principalmente de la precipitación, la escorrentía superficial y, en algunos casos, de la interceptación del nivel freático o de afloramientos subterráneos cuando la excavación alcanza mayores profundidades.

Durante esta etapa se deben identificar los aportes de agua hacia el tajo, los drenajes naturales, las zonas de encharcamiento, las filtraciones visibles

y la profundidad aproximada del nivel freático, información que constituye la base para diseñar los sistemas de drenaje y desagüe de la explotación.

Recomendaciones

- Identificar las cuencas de aporte hacia el área de explotación y los botaderos.
- Levantar un plano de drenajes naturales y obras de drenaje existentes.
- Verificar si el fondo del tajo intercepta el nivel freático.
- Registrar zonas con filtraciones o encharcamientos frecuentes.

5.2.3. Manejo de aguas superficiales

El manejo de aguas superficiales tiene como finalidad interceptar, conducir y evacuar la escorrentía antes de que ingrese al tajo, reduciendo los procesos de erosión, la inestabilidad de los taludes y el transporte de sedimentos.

El diseño de estas obras debe basarse en el comportamiento hidrológico del terreno y considerar las características topográficas del área de explotación.

5.2.4. Canales perimetrales y drenaje de taludes

Los canales perimetrales y las obras de drenaje superficial constituyen la primera barrera para controlar el ingreso de agua al área de explotación. Su función es interceptar y conducir la escorrentía de forma controlada, disminuyendo la erosión y evitando la saturación de los taludes.

Recomendaciones

- Construir canales perimetrales en la parte alta del tajo.
- Diseñar canales de coronación sobre los taludes.
- Implementar cunetas en rampas y vías internas.



- Mantener limpias las obras de drenaje para evitar obstrucciones y reboses.

5.2.5. Rutas de evacuación en superficie

Las rutas de evacuación superficial corresponden al conjunto de obras destinadas a conducir el agua desde el área de explotación hasta los sitios de tratamiento o descarga, evitando afectaciones sobre la operación minera y el entorno.

Recomendaciones

- Definir rutas de evacuación desde el tajo, botaderos y patios de acopio.
- Evitar el paso del flujo por taludes inestables.
- Incorporar estructuras disipadoras de energía en pendientes pronunciadas.

5.2.6. Manejo de aguas subterráneas y desagüe en el tajo

Cuando la excavación intercepta el nivel freático o se presentan infiltraciones, el diseño de mina debe incorporar sistemas que permitan conducir y evacuar el agua de forma controlada, evitando la saturación del fondo del tajo y preservando la estabilidad de la explotación.

Para ello, el piso de la mina debe diseñarse con pendientes que faciliten el flujo hacia sumideros o pozos de bombeo, desde donde el agua será conducida hacia estructuras de sedimentación o almacenamiento.

Recomendaciones

- Diseñar el fondo del tajo con pendiente hacia los sumideros.
- Construir zanjas internas de conducción.
- Evitar acumulaciones de agua en zonas de operación.
- Instalar bombas con capacidad suficiente para

los caudales esperados.

- Conducir el agua bombeada hacia estructuras de sedimentación antes de su descarga.

5.2.7. Plantas de tratamiento, reservorios y control de sedimentos

El agua proveniente del tajo, de los botaderos y de los patios de acopio puede transportar sedimentos que afectan la calidad de los cuerpos de agua receptores. Por ello, el diseño de mina debe incorporar estructuras destinadas a retener sólidos, almacenar temporalmente el agua y, cuando sea necesario, facilitar su tratamiento antes de la descarga o reutilización.

Recomendaciones

- Construir pozas de sedimentación.
- Dimensionar adecuadamente el tiempo de retención.
- Retirar periódicamente los sedimentos acumulados.
- Reutilizar el agua tratada para control de polvo y humectación de vías cuando sea técnicamente viable.

5.2.8. Monitoreo, mantenimiento y mejora continua

La eficiencia de las obras de manejo de aguas depende de su inspección, mantenimiento y seguimiento permanente durante todas las etapas de la explotación. El monitoreo continuo permite detectar oportunamente obstrucciones, procesos de erosión, fallas en las estructuras hidráulicas y cambios en las condiciones hidrogeológicas del proyecto.

Recomendaciones

- Inspeccionar periódicamente canales, cunetas, taludes y pozas, especialmente después de lluvias intensas.



- Monitorear la calidad del agua en los puntos de descarga.
- Registrar los volúmenes bombeados y el funcionamiento de los equipos.
- Incorporar mejoras al sistema de drenaje durante la ampliación del tajo y las actividades de cierre progresivo.

5.3. Consideraciones ambientales

El desarrollo de proyectos de explotación de materiales de construcción debe incorporar desde las etapas iniciales del planeamiento minero las condiciones ambientales y territoriales que pueden incidir en su viabilidad técnica, legal y ambiental. Para ello, es necesario identificar las áreas de exclusión minera, las zonas con restricciones para la actividad, las determinantes ambientales y los instrumentos de ordenamiento territorial aplicables al área del proyecto.

La incorporación temprana de estos aspectos permite reducir riesgos durante el desarrollo del proyecto, optimizar la planificación de las actividades mineras y facilitar el cumplimiento de los requisitos establecidos por las autoridades competentes.

Es igualmente importante identificar la autoridad ambiental competente según la jurisdicción donde se desarrollará el proyecto, ya que las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y demás autoridades ambientales son responsables de establecer las determinantes ambientales, administrar las áreas protegidas de carácter regional y definir lineamientos relacionados con la gestión del recurso hídrico, la biodiversidad y la gestión del riesgo.

La **Figura 5-3** presenta las principales determinantes ambientales que deben considerarse durante el proceso de planeamiento minero.

Figura 5-3

Determinantes ambientales para planeamiento minero





Este capítulo se concentra en la identificación preventiva de estas condiciones dentro del proceso de planeamiento minero. Las medidas específicas de prevención, mitigación, compensación, seguimiento y restauración ambiental se desarrollan en el Capítulo 8. Gestión Ambiental.

5.3.1. Gestión de áreas de exclusión minera

Las áreas de exclusión minera corresponden a territorios donde la actividad minera se encuentra prohibida por disposición legal debido a su importancia ambiental, social o estratégica.

La identificación de estas áreas debe realizarse desde las etapas iniciales del planeamiento mediante la consulta de cartografía oficial y la verificación de posibles superposiciones con áreas protegidas, ecosistemas estratégicos u otras zonas donde la legislación vigente impida el desarrollo de actividades mineras.

Figura 5-4

Consulta anticipada y obligatoria de áreas de exclusión minera

La **Figura 5-4** presenta el proceso de consulta anticipada de las áreas de exclusión minera como parte del análisis de viabilidad del proyecto.

5.3.2. Gestión de áreas de restricción minera

Las áreas de restricción minera corresponden a zonas donde la actividad minera puede desarrollarse bajo condiciones especiales, sujetas al cumplimiento de requisitos técnicos, ambientales, sociales o administrativos establecidos por la normativa vigente.

Entre ellas pueden encontrarse distritos de manejo integrado, áreas de recarga hídrica, zonas de amenaza alta por movimientos en masa y territorios con presencia de comunidades étnicas que requieran procesos de consulta previa, cuando esta sea aplicable conforme al marco legal.

La **Figura 5-5** presenta algunos ejemplos de restricciones ambientales que deben evaluarse durante el planeamiento minero.





Figura 5-5

Restricciones ambientales para un planeamiento minero



Buenas prácticas

- Identificar oportunamente las restricciones aplicables al proyecto.
- Incorporar estas condiciones en el diseño preliminar de la explotación.
- Coordinar el cumplimiento de los requisitos con las autoridades competentes.

5.3.3. Articulación del proyecto minero con el ordenamiento territorial

El planeamiento minero debe ser compatible con los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes, garantizando que las actividades proyectadas sean coherentes con los usos del suelo y la planificación del territorio.

Entre los principales instrumentos se encuentran:

- Plan de Ordenamiento Territorial (POT).
- Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT).
- Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT).
- Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA).

Buenas prácticas

- Analizar la compatibilidad entre el proyecto y los usos del suelo definidos en los instrumentos de ordenamiento territorial.
- Considerar las proyecciones de expansión urbana y las áreas agropecuarias estratégicas.
- Evitar la localización de infraestructura minera en suelos de protección.
- Participar tempranamente en los procesos de planificación territorial cuando corresponda.

5.3.4. Gestión de determinantes ambientales

Las determinantes ambientales corresponden a normas, directrices y criterios técnicos que orientan el uso del territorio y condicionan el desarrollo de proyectos mineros con el propósito de proteger los recursos naturales y prevenir conflictos ambientales.

Buenas prácticas

- Identificar las determinantes emitidas por la autoridad ambiental competente.



- Incorporarlas desde las etapas de prefactibilidad y planeamiento.
- Integrar criterios de protección del recurso hídrico, control de emisiones, manejo de estériles y restauración progresiva.

5.3.5. Gestión de áreas de importancia ambiental

Las áreas de importancia ambiental corresponden a ecosistemas o territorios que prestan servicios ecosistémicos esenciales y requieren condiciones especiales de conservación. Entre ellas se encuentran los bosques andinos, las zonas de recarga hídrica, los corredores de conectividad ecológica y otras áreas priorizadas para la conservación.

Su identificación temprana permite orientar el diseño del proyecto hacia alternativas que reduzcan los impactos ambientales y favorezcan un aprovechamiento sostenible del recurso mineral.

Buenas prácticas

- Desarrollar una adecuada línea base ambiental.
- Aplicar la jerarquía de mitigación, priorizando la prevención y la minimización de impactos.
- Implementar programas de restauración con especies nativas.
- Incorporar criterios de cierre progresivo y abandono planificado desde las primeras etapas del proyecto.

5.4. Recomendaciones transversales de diseño

El diseño de una explotación a cielo abierto para materiales de construcción debe abordarse de manera integral, articulando los criterios geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, ambientales, operacionales y de seguridad minera desarrollados en las etapas anteriores del planeamiento. La integración de estos componentes permite definir una explotación técnicamente viable, reducir los riesgos

operacionales y optimizar el aprovechamiento del recurso mineral.

En este contexto, las recomendaciones transversales de diseño corresponden a lineamientos que deben incorporarse durante la planificación, construcción, operación y cierre de la mina, con el propósito de garantizar condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad, desempeño ambiental y eficiencia operacional.

5.4.1. Plan minero de explotación

El Plan Minero de Explotación constituye el instrumento técnico mediante el cual se organiza, documenta y programa el desarrollo de la explotación dentro del área autorizada. Su finalidad es integrar los criterios definidos durante el planeamiento minero en una propuesta de explotación que establezca la forma en que se ejecutarán las actividades extractivas durante la vida útil del proyecto. Este plan debe consolidar la información geológica, geotécnica, hidrogeológica, ambiental y operativa del proyecto, permitiendo definir la configuración de la explotación, la secuencia de avance, las condiciones de estabilidad, las obras de drenaje, el manejo de materiales y las medidas necesarias para garantizar una operación segura, eficiente y conforme con la normativa vigente.

La adecuada estructuración del Plan Minero de Explotación facilita la gestión de los riesgos, optimiza el uso de los recursos disponibles, fortalece el control de la producción y proporciona una base técnica para el seguimiento de las actividades mineras y la toma de decisiones durante la operación.

Como mínimo, el Plan Minero de Explotación debe considerar los siguientes componentes:

- Método de explotación, acorde con las características del yacimiento y la capacidad operativa.
- Configuración geométrica del tajo, incluyendo bancos, taludes, bermas y rampas.
- Dimensionamiento de la explotación, de acuer-



do con la maquinaria, el recurso disponible y las condiciones geotécnicas.

- Secuencia de explotación, definiendo las fases o módulos de avance.
- Sistema de manejo de aguas superficiales y subterráneas.
- Manejo de estériles, botaderos y materiales de préstamo, cuando aplique.
- Integración de los criterios ambientales y territoriales establecidos para el proyecto.
- Sistema de control de producción y trazabilidad del material extraído.

La **Tabla 5-2** presenta los principales componentes que deben incorporarse en el Plan Minero de Explotación y su propósito dentro del diseño de una explotación de materiales de construcción.



Tabla 5-2

Componentes mínimos del Plan Minero de Explotación

Componente	Propósito	Aspectos mínimos para considerar	Referencia
1. Método de explotación	Definir el método de explotación más adecuado de acuerdo con las características geológicas, geotécnicas y operativas del depósito.	• Método de explotación por bancos. • Explotación aluvial o en terrazas, cuando aplique. • Explotación en cauce con los permisos correspondientes, cuando aplique. • Condiciones de estabilidad y drenaje. • Compatibilidad con la capacidad operativa del proyecto.	Anexo 5.1
2. Diseño minero	Definir la configuración geométrica de la explotación y la distribución de sus principales elementos operativos.	• Delimitación del área de explotación. • Configuración del tajo. • Bancos, bermas y rampas. • Localización de patios de acopio, botaderos e infraestructura. • Fases de explotación y rehabilitación progresiva.	Anexo 5.1



3. Parámetros geométricos	Establecer los parámetros geométricos de la explotación de acuerdo con las condiciones geotécnicas, la maquinaria disponible y el comportamiento del material.	• Altura de bancos. • Ángulos de talud. • Bermas de seguridad. • Rampas de acceso. • Anchos operacionales mínimos.	Anexo 5.1
4. Actividades operativas	Organizar las actividades de extracción y beneficio para garantizar una operación segura, eficiente y continua.	• Arranque del material. • Cargue y transporte. • Procesos de beneficio, cuando apliquen. • Control de calidad del material. • Circulación y señalización de vías internas.	Anexo 5.1
5. Infraestructura y servicios auxiliares	Garantizar la disponibilidad de infraestructura, energía y servicios necesarios para el desarrollo de la operación minera.	• Infraestructura operativa. • Talleres y áreas de mantenimiento. • Manejo de residuos peligrosos. • Señalización y comunicaciones.	Anexo 5.2
		• Instalaciones eléctricas conforme a la normatividad vigente.	
6. Control de aguas y drenajes	Implementar un sistema de manejo de aguas que permita controlar la escorrentía superficial y las aguas subterráneas, preservando la estabilidad de la explotación y reduciendo los impactos ambientales.	• Cunetas y canales perimetrales. • Pozas de sedimentación. • Sistemas de bombeo y drenaje. • Reutilización del agua cuando sea viable. • Protección de cauces y cuerpos de agua conforme a la normatividad vigente.	Anexo 5.3
7. Manejo de estériles y botaderos	Definir las condiciones técnicas para la disposición segura de materiales estériles, garantizando la estabilidad física y el control ambiental.	• Localización de botaderos. • Estabilidad de taludes. • Sistemas de drenaje. • Control de erosión. • Rehabilitación progresiva. • Registro de volúmenes dispuestos.	Anexo 5.5



8. Seguridad e higiene minera	Incorporar las medidas necesarias para proteger la vida, la salud y la integridad de los trabajadores durante todas las etapas de la explotación.	• Inspección periódica de equipos y taludes. • Uso de elementos de protección personal (EPP). • Señalización y demarcación. • Plan de emergencias. • Cumplimiento de la normatividad vigente en seguridad minera y seguridad y salud en el trabajo.	Anexo 5.6
9. Producción y cronograma	Programar el desarrollo de la explotación de acuerdo con la capacidad operativa y los objetivos de producción del proyecto.	• Metas de producción. • Cronograma de explotación. • Programación de mantenimiento. • Seguimiento de avances. • Rehabilitación progresiva.	Anexo 5.7
10. Integración y actualización del Plan Minero	Consolidar la información técnica, operativa, ambiental y de seguridad en un documento único que oriente	• Actualización periódica del plan. • Integración con el Plan de Manejo Ambiental.	Todos los anexos



Las recomendaciones transversales permiten:

- Integrar la geología y geotecnia con el diseño geométrico.
- Optimizar el uso de maquinaria y vías internas.
- Prevenir fallas de taludes y accidentes laborales.
- Reducir impactos ambientales y facilitar la rehabilitación del área intervenida.
- Garantizar la continuidad operativa y el cumplimiento normativo.

Estas recomendaciones son especialmente relevantes para proyectos pequeños, donde los recursos técnicos y financieros son limitados y el margen de error es reducido de esta manera en la Figura 56 se establece una matriz que establece una hoja de ruta para el diseño minero integral, vinculando criterios geotécnicos, operativos, ambientales y económicos con aplicaciones prácticas y sus beneficios directos en la estabilidad y continuidad del proyecto.



Figura 5-6
Ejes transversales y recomendaciones de diseño en la planificación minera

EJES TRANSVERSALES DEL DISEÑO DE MINAS			
EJE TRANSVERSAL	RECOMENDACIÓN DE DISEÑO	APLICACIÓN PRÁCTICA	BENEFICIO PRINCIPAL
Geológico - Geotécnico	Realizar estudios geotécnicos previos y actualizarlos	Definir taludes, bancos y bermas seguros	Estabilidad y reducción de riesgos
Seguridad minera	Diseñar accesos, taludes y frentes seguros	Control de alturas de banco y pendientes	Protección de trabajadores
Operativo	Ajustar el diseño a la capacidad de los equipos	Dimensionar vías y patios de maniobra	Mayor eficiencia y productividad
Ambiental	Minimizar áreas intervenidas	Diseño progresivo y secuencial	Menor impacto ambiental
Hidrológico	Implementar drenajes superficiales	Canales, cunetas y pendientes adecuadas	Prevención de erosión e inundaciones
Económico	Evitar sobredimensionamientos innecesarios	Diseños simples y funcionales	Reducción de costos operativos
Planificación	Diseñar por etapas o fases	Explotación ordenada del yacimiento	Continuidad del proyecto
Cierre y recuperación	Incorporar criterios de cierre desde el diseño	Taludes estables y conformación final	Facilita la rehabilitación



6. PLANEAMIENTO MINERO

El planeamiento minero corresponde al proceso técnico mediante el cual se organiza, programa y optimiza la explotación progresiva de un yacimiento, integrando las variables geológicas, geotécnicas, operativas, hidrogeológicas, ambientales, económicas y de seguridad minera, con el propósito de garantizar una explotación segura, eficiente, sostenible y técnicamente viable durante toda la vida útil del proyecto.

Más allá de establecer el volumen de material por extraer, el planeamiento minero define la forma en que se desarrollará la explotación, estableciendo la secuencia de avance, la programación de las operaciones, la utilización de los recursos dispo-

nibles y las medidas necesarias para controlar los riesgos asociados a la actividad minera. Para ello, incorpora la información obtenida durante la caracterización geológica del depósito, la selección del método de explotación, el diseño de mina, la evaluación geotécnica, el manejo de aguas y las consideraciones ambientales desarrolladas en los capítulos anteriores.

La **Figura 6-1** presenta el esquema general del proceso de planeamiento minero, mostrando la interacción entre los estudios geológicos, el diseño de mina, la selección de equipos, la programación de la explotación y la evaluación de la viabilidad técnica y económica del proyecto.



Figura 6-1

Esquema integral del planeamiento minero.



El planeamiento minero integra, como mínimo, los siguientes componentes:

- Caracterización geológica y estimación de recursos.
- Evaluación geotécnica y estabilidad de la explotación.
- Método de explotación.
- Diseño geométrico de la mina.
- Programación de las operaciones y utilización de equipos.
- Seguridad minera y gestión de riesgos.
- Manejo de aguas y consideraciones ambientales.
- Evaluación técnica y económica del proyecto.

6.1. Planeación estratégica – largo plazo

La planeación estratégica de largo plazo establece la visión integral del proyecto minero durante toda su vida útil, definiendo los criterios técnicos, operativos, económicos y ambientales que orientarán el desarrollo de la explotación desde su inicio hasta el cierre de la mina. Constituye el marco de referencia para la elaboración de los planes de mediano y corto plazo, permitiendo programar el aprovechamiento del recurso mineral de manera ordenada, segura y sostenible.

Su propósito es reducir la incertidumbre en la toma de decisiones, optimizar el aprovechamiento del yacimiento y garantizar que el desarrollo del proyecto sea compatible con las condiciones geológicas, geotécnicas, ambientales, sociales y normativas aplicables.

La **Tabla 61** presenta los principales componentes que deben considerarse durante la planeación estratégica de largo plazo



Componente	Propósito	Aspectos mínimos para considerar
1. Definición del límite final de la explotación	Definir la configuración final de la mina de acuerdo con las características del depósito y las condiciones de estabilidad.	• Delimitación del contorno final de la explotación. • Profundidad máxima prevista. • Extensión lateral. • Evaluación de la estabilidad global de los taludes finales. • Optimización del aprovechamiento del recurso.
2. Diseño geométrico final de la explotación	Establecer la geometría definitiva de la explotación para garantizar condiciones de estabilidad, seguridad y recuperación del terreno.	• Ángulos finales de talud. • Bermas permanentes. • Sistemas de drenaje. • Configuración geomorfológica final. • Integración paisajística.
3. Evaluación técnica y económica del proyecto	Analizar la viabilidad del proyecto durante toda su vida útil considerando las condiciones técnicas y económicas de la explotación.	• Estimación de recursos y reservas, según el nivel de información disponible. • Proyección de producción. • Costos de operación. • Evaluación económica. • Análisis de sensibilidad.
4. Integración del cierre y la rehabilitación	Incorporar desde la etapa de planeamiento las acciones necesarias para lograr un cierre progresivo, seguro y ambientalmente sostenible.	• Cierre progresivo. • Recuperación del terreno. • Estabilización de taludes. • Manejo definitivo de estériles. • Revegetación y restauración.
5. Gestión de riesgos e impactos acumulativos	Identificar y controlar los riesgos técnicos, ambientales y operacionales que puedan presentarse durante la vida útil del proyecto.	• Riesgos geotécnicos. • Riesgos hidrológicos. • Impactos ambientales acumulativos. • Gestión de riesgos operacionales. • Integración con el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).
6. Articulación con el ordenamiento territorial y la normativa	Garantizar que el proyecto sea compatible con los instrumentos de planificación territorial y con la normatividad minera y ambiental vigente.	• Compatibilidad con POT, PBOT o EOT. • Cumplimiento de determinantes ambientales. • Compatibilidad con los usos del suelo. • Seguimiento al cumplimiento normativo.



6.2, Planeación táctica – mediano plazo

La planeación táctica de mediano plazo constituye el nivel de planificación que articula la visión estratégica del proyecto con la programación operativa de la explotación. Su propósito es organizar el desarrollo progresivo del yacimiento, definiendo las actividades necesarias para garantizar la continuidad de la operación, optimizar el aprovechamiento del recurso mineral y mantener condiciones adecuadas de seguridad, estabilidad y desempeño ambiental.

Este horizonte de planeamiento permite programar la expansión de la explotación, ajustar el diseño de la mina de acuerdo con la información obtenida durante la operación y planificar las inversiones requeridas para asegurar la continuidad del proyecto. Asimismo, facilita la incorporación progresiva de medidas de recuperación ambiental y el seguimiento del desempeño operacional.

La **Tabla 6-2** presenta los principales componentes que deben considerarse durante la planeación táctica de mediano plazo.

Tabla 6-2

Componentes de la planeación táctica de mediano plazo

Componente	Propósito	Aspectos mínimos para considerar
1. Desarrollo progresivo del yacimiento	Programar la secuencia de explotación para garantizar un aprovechamiento ordenado y eficiente del recurso mineral.	• Definición de fases de explotación. • Secuencia de bancos, capas o terrazas. • Control del avance lateral y vertical. • Optimización del aprovechamiento del material útil y reducción de estériles.
2. Expansión de frentes y accesos	Planificar el crecimiento de la operación mediante la habilitación progresiva de nuevos frentes e infraestructura de acceso.	• Apertura de nuevos frentes. • Construcción de rampas y vías internas. • Reubicación de patios de acopio y áreas operativas. • Optimización de la logística de transporte.
3. Actualización del diseño geométrico	Ajustar el diseño de la explotación de acuerdo con las condiciones observadas durante la operación y los resultados del monitoreo técnico.	• Revisión de bancos, bermas y taludes. • Incorporación de resultados del monitoreo geotécnico e hidrogeológico. • Ajustes por cambios en la calidad del material. • Transición hacia taludes finales parciales.



4. Optimización del método de explotación	Evaluar y mejorar continuamente el método de explotación para incrementar la productividad sin comprometer la seguridad de la operación.	• Evaluación del desempeño del método seleccionado. • Incorporación de nuevas tecnologías o equipos, cuando sea pertinente. • Ajustes de acuerdo con la escala de producción. • Optimización de la productividad y eficiencia operacional.
5. Planificación de inversiones	Programar las inversiones necesarias para garantizar la continuidad y el crecimiento ordenado de la explotación.	• Adquisición o reposición de maquinaria y equipos. • Ampliación de infraestructura. • Mejoramiento de vías, drenajes y patios. • Evaluación de costos e inversiones. • Actualización del plan financiero.
6. Recuperación ambiental progresiva	Incorporar acciones de rehabilitación de manera simultánea al avance de la explotación para reducir los impactos ambientales.	• Recuperación progresiva de áreas intervenidas. • Conformación de taludes estables. • Manejo de estériles y suelos orgánicos. • Control de erosión. • Revegetación progresiva.
7. Seguimiento del desempeño operacional	Evaluar el comportamiento de la operación mediante indicadores que permitan verificar el cumplimiento de los objetivos del planeamiento y apoyar la toma de decisiones.	• Indicadores de producción. • Calidad del material extraído. • Consumo de insumos y materiales. • Disponibilidad y utilización de equipos. • Productividad y eficiencia operacional.

El objetivo de la planeación táctica de mediano plazo es optimizar el desarrollo progresivo de la explotación, garantizar la continuidad operacional y facilitar la toma de decisiones mediante la actualización permanente del diseño de mina, la programación de inversiones y el seguimiento del desempeño técnico, económico, ambiental y de seguridad del proyecto.

6.3. Planeación operativa – corto plazo

La planeación operativa de corto plazo corresponde al nivel de planificación encargado de coordinar y controlar las actividades diarias, semanales y mensuales de la explotación minera. Su finalidad es garantizar el cumplimiento de las metas de producción, mantener condiciones adecuadas de seguridad y asegurar que las operaciones se desarrollen conforme al diseño de mina y a la programación establecida en los planes de mediano y largo plazo.



Este nivel de planeación traduce las estrategias definidas para el proyecto en actividades operativas concretas, permitiendo realizar ajustes oportunos de acuerdo con las condiciones reales del yacimiento, el comportamiento geotécnico, la disponibilidad de equipos y las condiciones ambientales.

La Tabla 6-3 presenta los principales componentes de la planeación operativa de corto plazo.

Tabla 6-3

Componentes de la planeación operativa de corto plazo

Componente	Propósito	Aspectos mínimos para considerar
1. Control operativo diario	Programar y coordinar las actividades diarias de la explotación para garantizar el cumplimiento de las metas de producción.	• Programación diaria y semanal. • Asignación de equipos y personal. • Seguimiento de rendimientos y productividad. • Coordinación entre arranque, cargue, transporte y acopio.
2. Gestión de frentes activos y secuencia de explotación	Organizar el avance de la explotación mediante la selección de frentes seguros y técnicamente viables.	• Selección de frentes de trabajo. • Secuencia de explotación. • Control del avance horizontal y vertical. • Minimización de interferencias entre equipos.
3. Ajuste del diseño geométrico en campo	Adaptar el diseño de la explotación a las condiciones reales observadas durante la operación.	• Ajuste de bancos, bermas y taludes. • Adecuación de rampas y vías internas. • Corrección de condiciones de drenaje. • Implementación de medidas correctivas ante procesos de erosión o inestabilidad.
4. Gestión geotécnica y seguridad minera	Identificar y controlar oportunamente las condiciones que puedan afectar la estabilidad de la explotación y la seguridad de los trabajadores.	• Inspección de frentes y taludes. • Identificación de grietas, desprendimientos o zonas saturadas. • Aplicación de medidas correctivas inmediatas. • Cumplimiento de los procedimientos de seguridad minera.
5. Gestión de variables operacionales y ambientales	Ajustar la operación frente a cambios internos o externos que puedan afectar la continuidad y el desempeño de la explotación.	• Condiciones climáticas. • Variaciones en la calidad del material. • Cambios en la demanda. • Fallas de equipos. • Restricciones operativas o ambientales.



6. Seguimiento y control de la producción	Verificar el cumplimiento de la programación operativa y generar información para la toma de decisiones.	• Registro de volúmenes extraídos. • Control de productividad. • Disponibilidad y utilización de equipos. • Consumo de insumos. • Actualización de indicadores operacionales.
--	--	---

El objetivo de la planeación operativa de corto plazo es garantizar la ejecución segura, continua y eficiente de las actividades mineras mediante la programación detallada de la producción, el seguimiento permanente de las condiciones de operación y la implementación de ajustes oportunos que aseguren el cumplimiento de los objetivos establecidos en los planes de mediano y largo plazo.

Figura 6-2

Comparativa del planeamiento minero.

COMPARATIVA DEL PLANEAMIENTO MINERO		
LARGO PLAZO (ESTRATÉGICO)	MEDIANO PLAZO (TÁCTICO)	CORTO PLAZO (OPERATIVO)
ENFOQUE Visión integral del proyecto hasta el cierre	ENFOQUE Vida completa del yacimiento	ENFOQUE Gestión diaria de la operación. Días y semanas
HORIZONTE Vida completa del yacimiento	HORIZONTE Años / etapas de explotación	HORIZONTE Años / etapas de explotación
OBJETIVO PRINCIPAL Asegurar viabilidad técnica, económica, ambiental y social	OBJETIVO PRINCIPAL Pit final, taludes finales, reservas, cierre y marco legal	OBJETIVO PRINCIPAL Optimizar el desarrollo. Metas por etapas y secuencia de avance
DISEÑO MINERO Geometría final del tajo y taludes definitivos	DISEÑO MINERO Ajustes de bancos, bermos, y bermos	QUÉ DEFINE Programación diaria, diantes activos
PRODUCCIÓN Planificación de producción i; toda la vida de la mina	PRODUCCIÓN Planificación de inversiones operativas operativas	PRODUCCIÓN Control de rendimientos, tiempos muertos
ECONOMÍA Planificación de inversiones y costos operativos	ECONOMÍA Planificación de inversiones y costos operativos	ECONOMÍA Control de rendimientos, tiempos muertos y productividad

6.4. Planeación de cierre y postcierre

La planeación de cierre y postcierre constituye un componente transversal del planeamiento minero que debe incorporarse desde las etapas iniciales del proyecto y actualizarse durante toda su vida útil. Su finalidad es definir las acciones necesarias para lograr una terminación ordenada de las actividades mineras, garantizando la estabilidad física, ambiental y social del área intervenida, así como un uso futuro seguro y sostenible del territorio.

Esta planeación integra criterios técnicos, geotécnicos, ambientales y operativos que permiten prevenir la generación de pasivos ambientales, minimizar los riesgos asociados al abandono de las labores mineras y asegurar que las condiciones finales de la explotación sean compatibles con el entorno y con los usos previstos para el área.

Las actividades de cierre deben desarrollarse de manera progresiva, en la medida en que avanza la explotación, favoreciendo la recuperación gradual de las áreas intervenidas y reduciendo los costos y riesgos asociados al cierre definitivo de la mina.



Alcance de la planeación de cierre y postcierre

El cierre comprende las actividades orientadas a finalizar de manera segura las operaciones mineras, estabilizar las áreas intervenidas e implementar las medidas de rehabilitación previstas durante el desarrollo del proyecto.

Por su parte, el postcierre corresponde al periodo posterior a la finalización de las actividades extractivas, durante el cual se realiza el seguimiento, mantenimiento y verificación de las obras ejecutadas, con el fin de asegurar que las condiciones de estabilidad física, ambiental y de seguridad se mantengan en el tiempo.

Durante el postcierre no se desarrollan actividades de explotación minera; las acciones se concentran en el monitoreo, mantenimiento y evaluación del desempeño de las medidas implementadas durante el cierre.

La **Tabla 6-4** presenta los principales componentes que deben considerarse durante la planeación de cierre y postcierre.

Tabla 6-4
Componentes de la planeación de cierre y postcierre

Componente	Propósito	Aspectos mínimos para considerar
1. Estabilidad física de la explotación	Garantizar que las condiciones finales de la mina sean estables y seguras.	• Estabilidad final de taludes y bermas. • Eliminación de riesgos geotécnicos. • Conformación geomorfológica final.
2. Manejo definitivo de materiales	Asegurar la disposición estable de estériles y demás materiales remanentes de la explotación.	• Estabilización de botaderos. • Manejo de materiales residuales. • Control de erosión.
3. Manejo de aguas	Garantizar el funcionamiento permanente de las obras de drenaje y prevenir afectaciones a los recursos hídricos.	• Drenajes superficiales. • Drenajes subterráneos. • Control de escorrentías. • Mantenimiento de obras hidráulicas.
4. Recuperación ambiental y paisajística	Restablecer las condiciones ambientales del área intervenida y favorecer su integración con el entorno.	• Recuperación geomorfológica. • Revegetación. • Restauración del suelo. • Integración paisajística.



5. Seguridad del área intervenida	Reducir los riesgos para las personas, las comunidades y la infraestructura cercana.	• Señalización. • Control de accesos. • Eliminación de condiciones inseguras. • Protección de áreas críticas.
6. Monitoreo y mantenimiento postcierre	Verificar la eficacia de las medidas implementadas y asegurar su desempeño a largo plazo.	• Seguimiento geotécnico. • Monitoreo ambiental. • Mantenimiento de obras. • Verificación del cumplimiento de los objetivos de cierre.



7. OPTIMIZACIÓN DEL PLANEAMIENTO MINERO, MONITOREO Y CONTROL



La optimización del planeamiento minero, junto con un adecuado sistema de monitoreo y control, constituye un proceso permanente orientado a mejorar el desempeño técnico, operativo, ambiental y económico de la explotación minera. Su finalidad es verificar el cumplimiento del plan minero, evaluar el comportamiento real del yacimiento y de la operación, e implementar los ajustes necesarios para mantener condiciones adecuadas de seguridad, productividad y sostenibilidad durante toda la vida útil del proyecto.

La optimización del planeamiento no corresponde a una actividad aislada, sino a un proceso continuo que acompaña todas las etapas de la explotación, desde el inicio de las operaciones hasta el cierre y postcierre de la mina. Para ello, integra información proveniente del monitoreo geológico, geotécnico, operacional, ambiental y de seguridad, permitiendo una toma de decisiones fundamentada y oportuna.

7.1. Optimización del planeamiento minero

La optimización del planeamiento minero consiste en evaluar periódicamente el desempeño de la explotación con el fin de actualizar la programación, mejorar la secuencia de explotación, optimizar la utilización de los recursos disponibles y adaptar el diseño de la mina a las condiciones reales del yacimiento.

La **Figura 7-1** presenta las principales acciones que contribuyen a la optimización continua del planeamiento minero en proyectos de pequeña minería de materiales de construcción.

- La optimización del planeamiento debe considerar, entre otros, los siguientes aspectos:
- Actualización permanente de los planes de corto, mediano y largo plazo.
- Optimización de la secuencia de explotación y del desarrollo de los frentes de trabajo.
- Reducción de distancias de acarreo y mejora de la logística interna.
- Ajuste del método de explotación de acuerdo con las condiciones reales del yacimiento.
- Optimización del aprovechamiento del recurso mineral.
- Integración de las actividades de cierre progresivo dentro del desarrollo de la explotación.

Figura 7-1

Optimización plan de minado para pequeña minería





7.2. Monitoreo geotécnico y operacional

El monitoreo geotécnico y operacional permite evaluar de manera continua el comportamiento de la explotación y verificar que las condiciones de estabilidad, seguridad y operación se mantengan dentro de los parámetros definidos durante el planeamiento minero.

La información obtenida mediante el monitoreo constituye un insumo fundamental para la actualización del diseño de la mina, la identificación temprana de riesgos y la implementación de medidas preventivas y correctivas.

La **Figura 7-2** presenta el flujo general del proceso de monitoreo geotécnico y operacional aplicado a explotaciones de materiales de construcción.

Figura 7-2

Flujo de procesos para el monitoreo y gestión de la seguridad en frentes mineros.

Los programas de monitoreo deben contemplar, como mínimo:

- Inspección periódica de frentes, taludes y bermas.
- Seguimiento de condiciones geotécnicas e hidrogeológicas.
- Verificación del estado de vías, rampas y sistemas de drenaje.
- Control del desempeño de equipos y productividad.
- Registro y análisis de incidentes, desviaciones y acciones correctivas.

7.3. Sistemas de control y toma de decisiones

El sistema de control y toma de decisiones corresponde al conjunto de procedimientos, indicadores y herramientas de seguimiento mediante los cuales se evalúa el desempeño del proyecto, se comparan los resultados obtenidos con los objetivos establecidos en el plan minero y se definen las acciones necesarias para mantener la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de la explotación.

Este sistema integra información técnica, operativa, geotécnica, ambiental y de seguridad, facilitando la toma de decisiones en los diferentes niveles de planeamiento minero.





7.3.1 Objetivos del sistema de control y toma de decisiones

La **Tabla 7-1** presenta los principales objetivos del sistema de control y toma de decisiones dentro del proceso de planeamiento minero.

Tabla 7-1

Objetivos y finalidad del sistema de control y toma de decisiones

Objetivo	Finalidad
Verificar el cumplimiento del plan minero.	Evaluar el avance de la explotación respecto a la programación establecida
Detectar desviaciones técnicas y operativas.	Identificar oportunamente diferencias entre lo planificado y lo ejecutado.
Reducir riesgos geotécnicos y de seguridad.	Implementar acciones preventivas y correctivas para mantener condiciones seguras de operación.
Optimizar la producción y los costos.	Mejorar la eficiencia operacional y el aprovechamiento de los recursos disponibles.
Garantizar el cumplimiento ambiental y normativo.	Verificar el cumplimiento de los requisitos legales y ambientales aplicables.
Apoyar la toma de decisiones.	Proporcionar información confiable para la actualización de los planes de corto, mediano y largo plazo.

7.4. Optimización del plan de minado

La optimización del planeamiento minero corresponde al proceso continuo mediante el cual se evalúan y ajustan las estrategias de explotación para mejorar el desempeño técnico, operativo, económico, ambiental y de seguridad del proyecto. Su propósito es adaptar el plan minero a las condiciones reales del yacimiento, optimizar el aprovechamiento del recurso mineral y garantizar una operación eficiente durante toda la vida útil de la explotación. La optimización debe realizarse de manera permanente, incorporando la información obtenida mediante el monitoreo geológico, geotécnico, operacional y ambiental, así como los resultados de producción y los cambios observados en las condiciones del terreno.

7.4.1. Principales acciones de optimización

La **Figura 71** ilustra la optimización del planeamiento minero como un proceso continuo orien-

tado a mejorar la secuencia de explotación, el uso de los recursos y el diseño geométrico, con el fin de maximizar la productividad y reducir riesgos y costos; para ello, presenta seis acciones clave: el ajuste permanente del plan en el corto, mediano y largo plazo, la optimización de frentes y secuencia de bancos, la reducción de distancias de acarreo para disminuir costos operativos, la adecuación del método a las condiciones reales del yacimiento, el mejor aprovechamiento del material minimizando pérdidas y la integración del cierre progresivo dentro del plan operativo, logrando así una operación minera más eficiente, segura y sostenible.

La **Figura 7-1** presenta las principales acciones que conforman el proceso de optimización del planeamiento minero en proyectos de explotación de materiales de construcción. Estas acciones permiten actualizar el plan de explotación, mejorar el desempeño operacional y fortalecer la gestión de los riesgos durante el desarrollo del proyecto.

Posteriormente, la **Tabla 7-2** resume las principales acciones de optimización del planeamiento minero.



Tabla 7-2

Principales acciones para la optimización del planeamiento minero

Acción	Objetivo
Actualización permanente del plan minero.	Ajustar la programación de corto, mediano y largo plazo de acuerdo con el comportamiento de la explotación.
Optimización de la secuencia de explotación.	Mejorar el desarrollo de frentes, bancos o terrazas para incrementar la eficiencia operacional.
Optimización del transporte interno.	Reducir las distancias de acarreo y los tiempos de ciclo de los equipos.
Ajuste del método de explotación.	Adaptar el método a las condiciones geológicas, geotécnicas y operativas observadas durante la explotación.
Aprovechamiento del recurso mineral.	Reducir pérdidas de material útil y optimizar la recuperación del yacimiento.
Integración del cierre progresivo.	Incorporar actividades de rehabilitación de manera simultánea con el avance de la explotación.

7.5. Monitoreo geotécnico y operacional

El monitoreo geotécnico y operacional permite evaluar de manera continua el comportamiento del terreno y de la operación minera, facilitando la identificación temprana de condiciones que puedan afectar la estabilidad de la explotación, la seguridad de los trabajadores o el cumplimiento de las metas de producción.

La información obtenida mediante el monitoreo constituye un insumo fundamental para la actualización del planeamiento minero y la implementación de medidas preventivas y correctivas.

7.5.1. Aspectos clave del monitoreo

La **Figura 7-2** presenta el flujo general del proceso de monitoreo geotécnico y operacional, desde la inspección sistemática de los frentes de explotación hasta el registro y análisis de la información necesaria para la toma de decisiones.

La **Tabla 7-3** resume los principales aspectos que deben incorporarse en los programas de monitoreo.

Tabla 7-3

Aspectos clave del monitoreo geotécnico y operacional

Aspecto	Finalidad
Inspección de frentes y taludes.	Identificar oportunamente condiciones de inestabilidad.
Seguimiento geotécnico.	Evaluar el comportamiento del macizo y de los taludes.
Monitoreo hidrogeológico.	Verificar el comportamiento de aguas superficiales y subterráneas.
Seguimiento operacional.	Controlar productividad, utilización de equipos y cumplimiento del plan de producción.
Registro y análisis de incidentes.	Implementar acciones preventivas y correctivas para reducir riesgos.



7.6. Sistemas de control y toma de decisiones

El sistema de control y toma de decisiones corresponde al conjunto de procedimientos, herramientas técnicas e indicadores utilizados para verificar el desempeño del proyecto, comparar los resultados obtenidos con lo planificado y adoptar decisiones que permitan mantener la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de la explotación.

Este sistema integra información geológica, geotécnica, operacional, ambiental y de seguridad, proporcionando una base objetiva para la actualización permanente del planeamiento minero.



7.6.1. Objetivos del sistema de control y toma de decisiones

La **Tabla 7-4** presenta los principales objetivos del sistema de control y toma de decisiones y su contribución al mejoramiento continuo del planeamiento minero.

Tabla 7-4
 Objetivos y finalidad del sistema de control y toma de decisiones

Objetivo	Finalidad
Verificar el cumplimiento del plan minero.	Evaluar el grado de ejecución de la programación establecida.
Detectar desviaciones técnicas y operativas.	Identificar diferencias entre la planificación y la operación real.
Reducir riesgos geotécnicos y de seguridad.	Implementar acciones preventivas y correctivas.
Optimizar la producción y los costos.	Incrementar la eficiencia operacional y el aprovechamiento de los recursos.
Garantizar el cumplimiento ambiental y normativo.	Verificar el cumplimiento de los requisitos legales aplicables.
Apoyar la toma de decisiones.	Proporcionar información confiable para la actualización del planeamiento minero.



8. GESTIÓN AMBIENTAL

La gestión ambiental constituye un componente transversal del planeamiento minero y debe integrarse desde las etapas iniciales del proyecto con el propósito de prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos que puedan generarse durante las actividades de exploración, explotación, cierre y postcierre.

La incorporación temprana de los aspectos ambientales permite que el diseño de la explotación sea compatible con las determinantes ambientales, el ordenamiento territorial y la normatividad vigente, favoreciendo una adecuada planificación de las medidas de manejo, el uso eficiente de los recursos naturales y el cumplimiento de las obligaciones ambientales aplicables.

8.1. Articulación entre los instrumentos técnicos mineros y los instrumentos de manejo ambiental

Los instrumentos técnicos mineros y los instrumentos de manejo ambiental contienen información complementaria que puede integrarse durante la formulación y evaluación de los proyectos mineros. Esta articulación permite optimizar la recopilación de información técnica, reducir la duplicidad de estudios y fortalecer la consistencia entre los documentos requeridos por las autoridades mineras y ambientales.

La **Tabla 8-1** presenta los principales capítulos de los instrumentos técnicos mineros que pueden soportarse con información proveniente de los instrumentos de manejo ambiental, siempre que esta sea pertinente y cumpla los requisitos establecidos en la normatividad vigente.



Tabla 8-1

Capítulos del instrumento técnico minero que pueden ser soportados con información de la Licencia Ambiental

Instrumento técnico minero	Capítulos / componentes susceptibles de articulación	Información que puede ser soportada con el instrumento de manejo ambiental
Programa de Trabajos y Obras (PTO). Resolución 143, 2017; modificada por la Resolución 299, 2018.	Estimación de recursos minerales. Estimación de reservas minerales. Factores ambientales. Factores sociales. Plan de cierre.	• Línea base ambiental. • Hidrología e hidrogeología. • Determinantes ambientales. • Identificación y evaluación de impactos. • Medidas de manejo ambiental. • Información social y relacionamiento con comunidades. • Programas de cierre y rehabilitación.
Plan de Trabajos y Obras Complementario (PTOC) Resolución 414, 2014.	Recuperación geomorfológica. Plan de cierre. Abandono de infraestructura.	• Programas de restauración. Revegetación. • Conformación del terreno. • Recuperación paisajística. • Medidas de cierre y postcierre.
Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD) Resolución 10, 2024.	Manejo de estériles. Manejo de aguas. Manejo de capa orgánica. Beneficio de minerales. Plan de cierre.	• Programas de manejo de aguas. • Manejo de residuos y estériles. • Manejo de suelos. • Programas de rehabilitación ambiental. • Medidas de seguimiento y monitoreo.
Anexo técnico para solicitudes de contrato de concesión con requisitos diferenciales Resolución 614, 2020.	Actividades principales de la operación minera.	• Manejo de aguas. • Disposición de estériles. • Manejo de suelos. • Medidas de prevención, mitigación y seguimiento ambiental.

El anexo 8.3 denominado “**Requerimientos ambientales en los diferentes instrumentos técnicos mineros**” presenta de manera detallada y amplia los aspectos resumidos en la tabla anterior.

Para garantizar coherencia entre instrumento minero e instrumento ambiental, el minero debería verificar como mínimo, que su instrumento técnico incluya:

- Medidas de manejo ambiental y sus costos desde exploración, cuando aplique.
- Permisos, concesiones, autorizaciones o licencia ambiental según fase y tipo de actividad.
- Restricciones ambientales del área y compatibilidad con zonas protegidas, cauces y POT/PBOT/EOT.
- Manejo de aguas, estériles, relaves, suelos y sobrantes, cuando el TDR aplicable lo exija.
- Plan de cierre, con recuperación/restauración/rehabilitación y costos asociados.



8.1.1. Requisitos para la solicitud de viabilidad y licenciamiento ambiental

La gestión ambiental de los proyectos de explotación de materiales de construcción requiere el cumplimiento de los requisitos establecidos por la autoridad ambiental competente, de acuerdo con el tipo de proyecto, su etapa de desarrollo y el instrumento ambiental aplicable.

La **Figura 8-1** presenta de manera esquemática los principales requisitos asociados a los diferentes trámites ambientales aplicables a proyectos de pequeña minería y procesos de formalización minera, incluyendo la viabilidad ambiental cuando corresponda, la Licencia Ambiental Temporal para mineros en proceso de formalización y la Licencia Ambiental Definitiva, de conformidad con la normatividad vigente.

8.2. Identificación de impactos ambientales

La identificación de impactos ambientales constituye un componente fundamental de la gestión ambiental y debe desarrollarse desde las etapas iniciales del planeamiento minero. Su propósito es reconocer las interacciones entre las actividades del proyecto y los componentes físico, biótico y socioeconómico del entorno, permitiendo identificar los impactos potenciales y definir oportunamente las medidas de manejo necesarias para prevenir, mitigar, corregir o compensar sus efectos.

La incorporación temprana de este análisis facilita la toma de decisiones durante el diseño y desarrollo de la explotación, fortalece la planificación ambiental y contribuye al cumplimiento de la normatividad vigente.

El **Anexo 8.2. Paso a paso para la identificación de impactos ambientales** presenta la metodología propuesta para desarrollar este proceso en proyectos de explotación de materiales de construcción.

Figura 8-1.

Lista de requisitos para tramites ambientales ante la autoridad ambiental





8.2.1. Evaluación de impactos ambientales en el marco de la formalización minera

En el contexto del Plan Único de Legalización y Formalización Minera, la Resolución 1830 de 2024, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, reglamenta la Licencia Ambiental Temporal, establece lineamientos para la evaluación de impactos ambientales en proyectos de pequeña minería y procesos de formalización.

La aplicación de estos lineamientos permite identificar y valorar los impactos derivados de las actividades mineras, facilitando la formulación de medidas de manejo ambiental acordes con las características del proyecto y promoviendo una formalización minera técnica, responsable y ambientalmente sostenible.

Antes de desarrollar la evaluación de impactos ambientales, es recomendable conocer el marco normativo aplicable, ya que este define los criterios, obligaciones y requisitos que orientan la identificación, valoración y manejo de los impactos ambientales asociados al proyecto minero.

La **Tabla 8-2** presenta las principales disposiciones normativas que sirven de referencia para la evaluación de impactos ambientales en el marco de la formalización minera y la formulación de los instrumentos ambientales correspondientes.

Tabla 8-2

Lista de chequeo aplicación básica en normatividad ambiental

Aspecto por verificar	Sí	No	Herramienta o referencia técnica	Propósito
Conoce el contenido de la Resolución 1830, 2024 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	☐	☐	Herramienta de evaluación de impactos y definición de medidas de manejo ambiental establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Comprender la metodología para identificar, valorar y priorizar los impactos ambientales del proyecto minero.
Ha consultado el Listado de Impactos Ambientales Específicos publicado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	☐	☐	Listado oficial de impactos ambientales aplicables a diferentes sectores productivos.	Identificar los impactos ambientales que pueden generarse durante el desarrollo del proyecto y establecer su priorización.
Conoce los lineamientos de la Resolución 263 de 2021 de la Agencia Nacional de Minería para la formulación del Plan de Gestión Social .	☐	☐	Términos de referencia para la construcción del Plan de Gestión Social.	Incorporar medidas para el manejo de los impactos sociales y fortalecer el relacionamiento con las comunidades del área de influencia.

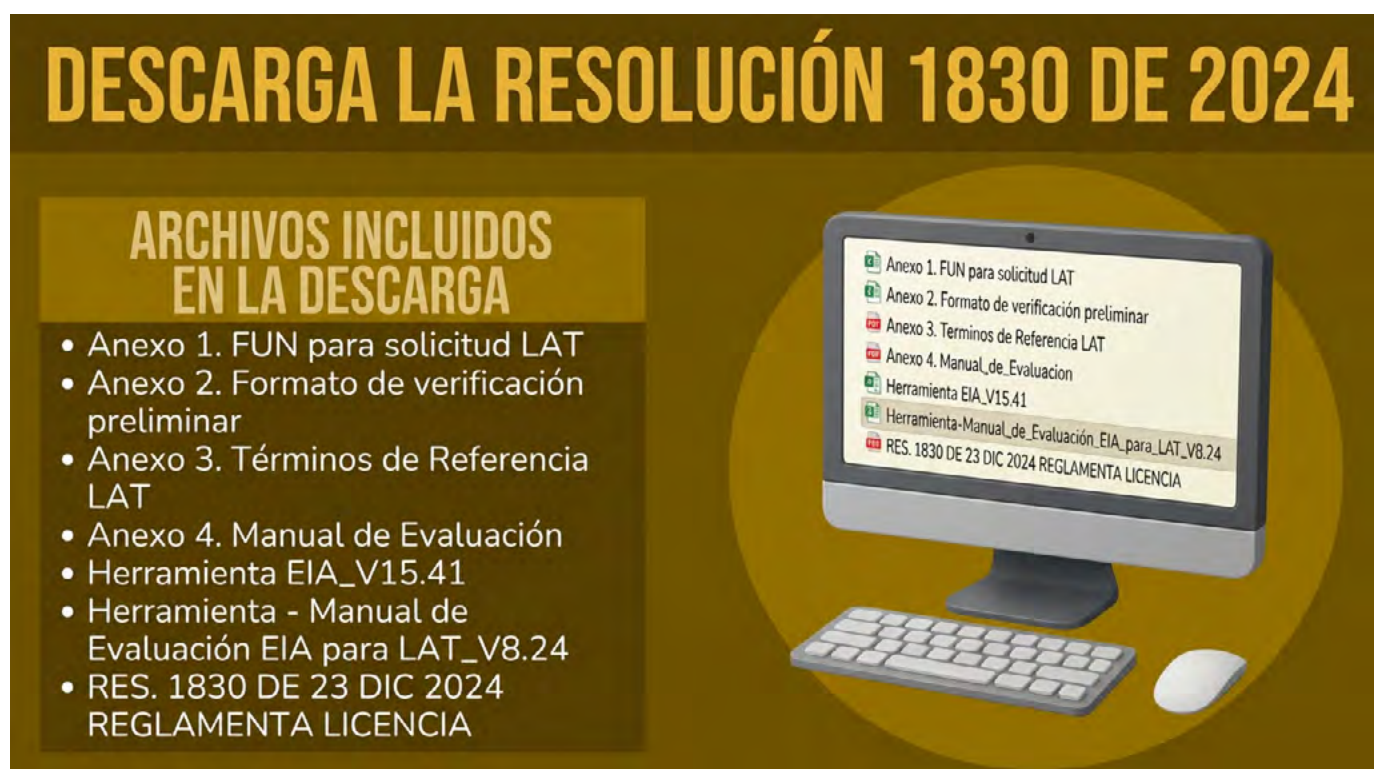
Nota. Adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 1830, 2024 & Agencia Nacional de Minería, Resolución 263, 2021.

Como buena práctica minera, es fundamental que los proyectos mineros conozcan la regulación normativa aplicable al proceso de licenciamiento ambiental para proyectos de formalización minera, así como el uso de herramientas técnicas como la matriz de evaluación de impactos ambientales, la cual facilita la toma de decisiones, mejora la planificación ambiental del proyecto y fortalece el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, al descargar el contenido de la Resolución 1830 de 2024 se podrá utilizar libremente la herramienta EIA_V15.41 como se observa en la **Figura 8- 2**.



Figura 8-2.

Listado de documentos anexos a la Resolución 1830 de 2024



La **Figura 8-2** presenta los documentos anexos que hacen parte de la **Resolución 1830 del 23 de diciembre de 2024**, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los cuales constituyen herramientas de apoyo para la evaluación de impactos ambientales y la formulación de medidas de manejo en proyectos de pequeña minería y procesos de formalización minera.

Se recomienda que los titulares mineros consulten y utilicen estos documentos durante la elaboración de los instrumentos ambientales aplicables, ya que proporcionan criterios técnicos para la identificación, valoración y priorización de los impactos ambientales, facilitando la formulación de medidas de manejo acordes con las características del proyecto y con los requerimientos de la autoridad ambiental competente.

Entre los anexos de la resolución se encuentra la herramienta **EIA_V15.41**, diseñada para apoyar el proceso de evaluación de impactos ambienta-

les mediante una metodología estandarizada que contribuye a fortalecer la planificación ambiental, la toma de decisiones y el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente

8.2.2. Evaluación de impactos ambientales en el marco de la pequeña minería

De acuerdo con los **Términos de Referencia para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) en proyectos mineros**, establecidos mediante la **Resolución 2206 de 2016**, la evaluación de impactos ambientales comprende la identificación de las actividades del proyecto, la caracterización del área de influencia, la identificación y valoración de los impactos ambientales y la formulación de las medidas de manejo correspondientes.

Estos componentes constituyen la base para integrar la gestión ambiental al planeamiento minero,



permitiendo anticipar los posibles efectos de la explotación sobre el medio físico, biótico y socioeconómico, así como definir las acciones necesarias para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos identificados.

La **Tabla 8-3** presenta una metodología simplificada, basada en los componentes de evaluación de impactos establecidos en los términos de referencia del EIA, con el propósito de facilitar su aplicación en proyectos de pequeña minería.

Tabla 8-3

Metodología simplificada para la evaluación de impactos ambientales en proyectos de pequeña minería

Exigencia tdr resolución 2206	Buena practica minera
Descripción del proyecto	Paso 1 – Identificación de actividades mineras
Identificación de impactos	Paso 2 – Relación actividad–impacto
Evaluación de impactos	Paso 3 – Clasificación por nivel
Plan de Manejo Ambiental	Paso 4 – Priorización y medidas
Seguimiento ambiental	Tabla de acciones según nivel

Con el fin de facilitar la aplicación de esta metodología durante el planeamiento minero, la **Figura 8-3** presenta un procedimiento secuencial para la identificación, evaluación y priorización de los impactos ambientales, orientado a apoyar la formulación de las medidas de manejo ambiental y la toma de decisiones en proyectos de pequeña y mediana minería.

Figura 8-3

Paso a paso para identificación de impactos ambientales en el proyecto minero

Paso 1. Identificación de las actividades operativas del proyecto minero

El primer paso consiste en identificar las actividades desarrolladas durante la operación minera, ya que estas constituyen la fuente potencial de los impactos ambientales que serán evaluados en las etapas posteriores.

Para ello, se recomienda verificar las actividades que hacen parte del proyecto minero, utilizando la siguiente lista de chequeo:

- ☐ Remoción de cobertura vegetal.
- ☐ Excavación y explotación de la mina.
- ☐ Cargue y transporte de material.
- ☐ Trituración y/o beneficio del material.
- ☐ Acopio de material.
- ☐ Manejo de estériles.
- ☐ Manejo de combustibles y sustancias peligrosas.
- ☐ Bombeo de aguas hacia superficie.
- ☐ Vertimientos de aguas de origen minero.
- ☐ Gestión y disposición de residuos.

Paso 2. Identificación de los componentes ambientales potencialmente impactados

Una vez identificadas las actividades operativas del proyecto, el siguiente paso consiste en determinar los componentes ambientales que pueden verse afectados como consecuencia de su ejecución.

Para ello, se recomienda relacionar cada una de las actividades seleccionadas en el paso anterior con los componentes del medio físico, biótico y socioeconómico que podrían experimentar alteraciones durante el desarrollo del proyecto.

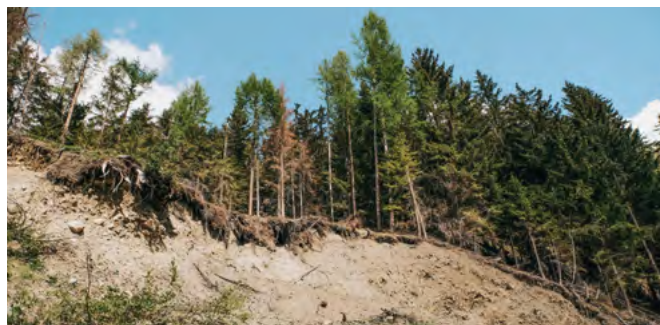




La **Tabla 8-4** presenta una guía para establecer la relación entre las actividades operativas del proyecto y los componentes ambientales potencialmente impactados, facilitando la identificación preliminar de los impactos ambientales que serán objeto de evaluación en las etapas siguientes.

Tabla 8-4

Identificación de impactos por actividad



ACTIVIDAD	IMPACTO PRINCIPAL ASOCIADO	COMPONENTE AMBIENTAL	MARQUE CON UNA X EL QUE APLIQUE
Remoción de cobertura vegetal	Pérdida de suelo orgánico	Suelo	
Remoción de cobertura vegetal	Alteración paisajística	Social	
Explotación de reservas mineras	Generación de expectativas	Social	
Cargue y Transporte	Generación de polvo / Emisión de gases	Aire	
Trituración / Beneficio	Generación de polvo / Emisión de gases	Aire	
Trituración / Beneficio	Generación de ruido	Social	
Acopio de material	Generación de polvo	Aire	
Acopio de material	Generación de ruido	Social	
Acopio de material	Aguas de escorrentía contaminadas con sedimentos	Agua	
Manejo de estériles	Inestabilidad geotécnica	Suelo	
Manejo de combustibles	Contaminación del suelo y agua por derrame de hidrocarburos	Suelo / Agua	
Bombeo de aguas a superficie / Vertimientos	Contaminación hídrica	Agua	
Disposición de residuos	Contaminación por malos olores	Aire / Social	

Paso 3. Identificación de los impactos ambientales por componente

Una vez identificados los componentes ambientales potencialmente afectados, el siguiente paso consiste en determinar los impactos ambientales asociados a cada uno de ellos durante las diferentes etapas de la explotación minera.

Para ello, se recomienda revisar los listados de impactos correspondientes a los componentes **aire**,

agua, **suelo** y **medio socioeconómico (comunidad)**, e identificar aquellos que puedan generarse como consecuencia de las actividades desarrolladas en el proyecto minero.

Las **Tablas 8-5 a 8-8** presentan un listado de impactos ambientales organizado por componente ambiental, el cual facilita la identificación y priorización de los impactos potenciales y constituye un insumo para la formulación de las medidas de manejo ambiental requeridas.



COMPONENTE AIRE

Tabla 8-5

Identificación de impactos componente aire

No.	IMPACTO	NIVEL	MARQUE CON UNA X EL QUE APLIQUE
1	Generación de polvo y emisión de gases por cargue y transporte	Alto	
2	Generación de polvo y emisión de gases por trituración / beneficio	Alto	
3	Generación de polvo por acopio de mineral	Medio	
4	Olores por residuos	Bajo	

COMPONENTE AGUA

Tabla 8-6

Identificación de impactos componente agua

No.	IMPACTO	NIVEL	MARQUE CON UNA X EL QUE APLIQUE
5	Aporte de sedimentos a quebradas	Alto	
6	Vertimiento de aguas sin tratamiento	Alto	
7	Alteración de drenajes naturales	Medio	
8	Contaminación por derrame combustibles, grasas y aceites	Alto	

COMPONENTE SUELO

Tabla 8-7

Identificación de impactos componente suelo

No.	IMPACTO	NIVEL	MARQUE CON UNA X EL QUE APLIQUE
9	Remoción de cobertura vegetal	Alto	
10	Inestabilidad geotécnica por disposición de estériles	Alto	
11	Contaminación del suelo por derrame de combustibles, grasas y aceites	Medio	

COMPONENTE SOCIAL

Tabla 8-8

Identificación de impactos componente comunidad

Nº	IMPACTO	NIVEL	MARQUE CON UNA X EL QUE APLIQUE
12	Ruido por realizar beneficio y transformación del mineral	Medio	
13	Ruido por acopio, cargue y transporte del mineral	Alto	
14	Afectación paisajística	Bajo	
15	Generación de expectativas en la comunidad por explotación de reservas mineras	Alto	



Paso 4. Priorización de los impactos ambientales y definición de las medidas de manejo

Una vez identificados y valorados los impactos ambientales asociados al proyecto minero, el siguiente paso consiste en priorizarlos de acuerdo con su nivel de importancia, con el fin de establecer las medidas de manejo ambiental que deberán implementarse durante las diferentes etapas de la explotación.

Para ello, se recomienda registrar los resultados obtenidos en la **Tabla 8-9**, la cual permite consolidar el nivel de impacto identificado para cada componente ambiental y facilitar el análisis integral del desempeño ambiental del proyecto.

La priorización de los impactos constituye un insumo fundamental para la formulación del **Plan de Manejo Ambiental (PMA)**, ya que permite definir las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación que resulten necesarias para controlar los efectos ambientales generados por la actividad minera, así como establecer las acciones de seguimiento y monitoreo para verificar su eficacia.

Tabla 8-9
Priorización de impactos ambientales y definición de medidas de manejo

Nivel de impacto	Impactos identificados (Paso 3)	Medidas de manejo recomendadas
Alto	☐ 1 ☐ 2 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 ☐ 13 ☐ 15	• Implementar de manera inmediata las medidas de control técnico. • Aplicar las medidas de prevención, mitigación, corrección o compensación definidas en el Plan de Manejo Ambiental (PMA). • Realizar seguimiento y monitoreo mensual. • Registrar las evidencias de las acciones implementadas (bitácoras, registros fotográficos u otros soportes). • Informar oportunamente al responsable ambiental del proyecto.
Medio	☐ 3 ☐ 7 ☐ 11 ☐ 12	• Implementar las medidas preventivas establecidas en el PMA. • Realizar seguimiento trimestral. • Mantener registros de las actividades ejecutadas y de las evidencias correspondientes.
Bajo	☐ 4 ☐ 14	• Mantener las buenas prácticas operacionales. • Implementar las medidas de compensación o mejoramiento que correspondan. • Garantizar el orden y la limpieza de las áreas intervenidas. • Realizar seguimiento semestral. • Registrar las acciones ejecutadas en la bitácora de operación.



Para recordar

- Impactos altos: requieren la implementación inmediata de medidas de manejo, seguimiento mensual y verificación continua de su eficacia.
- Impactos medios: requieren la aplicación de medidas preventivas y seguimiento periódico para evitar que su importancia aumente.
- Impactos bajos: deben gestionarse mediante buenas prácticas operativas, acciones de mejoramiento y seguimiento semestral para mantener su condición.

8.3. Medidas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales

Una vez identificados y valorados los impactos ambientales del proyecto minero, el siguiente paso consiste en definir las medidas de manejo ambiental que serán incorporadas al planeamiento minero y a los instrumentos técnicos y ambientales aplicables.

Estas medidas deben orientarse a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos identificados, de acuerdo con su naturaleza, magnitud e importancia, procurando minimizar los efectos sobre los componentes físico, biótico y socioeconómico del área de influencia.

La definición de las medidas de manejo desde las etapas de planeamiento facilita su incorporación en el diseño de la explotación, la programación de las actividades operativas, la estimación de los costos ambientales y la formulación del Plan de Manejo Ambiental (PMA), contribuyendo al cumplimiento de la normatividad ambiental vigente y al desarrollo de una minería técnica y ambientalmente sostenible.

La **Figura 8-4** presenta una secuencia metodológica para verificar que cada impacto ambiental iden-

tificado cuente con la correspondiente medida de manejo previamente definida, asegurando la trazabilidad entre la identificación del impacto, su priorización y la acción de manejo propuesta.

Como herramienta de apoyo para este proceso, el **anexo 8.1. Lista de verificación para el planeamiento ambiental del proyecto minero** proporciona un instrumento de autoevaluación que facilita la revisión del cumplimiento de los principales aspectos ambientales durante las etapas de planeamiento y diseño del proyecto.

Tabla 8-10

Paso a paso para gestionar impactos





Figura 8-4

Tipo de medidas ambientales

MEDIDA	¿QUÉ SIGNIFICA?	¿CUÉANDO SE APLICA?	EJEMPLO EN PEQUEÑA MINERÍA
PREVENCIÓN	Son las acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que pueda generar un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente.	Antes de iniciar las actividades mineras.	Seleccionar un área de explotación que no afecte nacimientos de agua, humedales o bosques, y definir un diseño que reduzca al máximo la remoción de cobertura vegetal.
MITIGACIÓN	Son las acciones dirigidas a minimizar los impactos y efectos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente.	Durante la ejecución de la actividad minera.	Construir zanjas de drenaje, instalar trampas de sedimentos, controlar el polvo mediante humectación de vías o reducir el ruido de la maquinaria.
CORRECCIÓN	Son las acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del ambiente afectado por el proyecto, obra o actividad.	Durante o al finalizar la explotación, cuando exista un área impactada.	Reperfilear taludes, estabilizar el terreno, recuperar el suelo y revegetalizar las zonas intervenidas.
COMPENSACIÓN	Son las acciones dirigidas a reparar y retribuir a las comunidades, las regiones, natural por los impactos o efectos impactos generados por un proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos o mitigados.	Cuando persisten impactos que no pueden prevenirse, mitigarse o corregirse completamente y la normativa lo exige.	Restaurar un ecosistema degradado o ejecutar acciones de conservación definidas por la autoridad ambiental competente.

8.3.1. Gestión de Materiales y Residuos

Durante el planeamiento del proyecto minero, identificar y documentar los materiales y residuos que se generarán en las diferentes etapas de la operación (exploración, construcción y montaje, explotación, beneficio, transformación, cierre y poscierre). Definir las alternativas para su manejo, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final, de acuerdo con la normativa ambiental aplicable, e incorpore estos aspectos en la planificación del proyecto.

8.3.1.1. Material estéril

La adecuada gestión del material estéril constituye un aspecto fundamental del planeamiento minero, ya que influye en el diseño de la explotación, la estabilidad física de la mina, la ocupación del terreno y el desempeño ambiental del proyecto. Por esta razón, su identificación y manejo deben incorporarse desde las etapas iniciales de planificación, definiendo criterios técnicos para su generación, disposición y control.

El flujograma presentado a continuación constituye una herramienta de apoyo para el planeamiento minero, al permitir identificar de manera anticipada las principales fuentes de generación de material



estéril y su relación con las diferentes actividades desarrolladas durante la explotación de materiales de construcción.

Esta herramienta facilita la identificación de los puntos críticos que deben considerarse para la localización, diseño y dimensionamiento de las **Zonas de Manejo de Escombros y Materiales de Excavación (ZODME)**, así como la definición de las estrategias para el manejo, almacenamiento

y disposición del material estéril, de conformidad con los criterios técnicos, ambientales y normativos aplicables.

La **Figura 8-5** presenta la clasificación de las principales fuentes de generación de material estéril en explotaciones a cielo abierto de materiales de construcción, como insumo para su incorporación en el planeamiento minero y para la planificación de las ZODME.

Figura 8-5

Clasificación de generación de estéril en minería a cielo abierto para materiales de construcción



Las Figuras 8-6 y 8-7 presentan ejemplos de buenas prácticas para la planificación y conformación de las ZODME, orientadas a favorecer la estabilidad física de los depósitos, facilitar el manejo adecuado del material estéril y prevenir los impactos ambientales asociados a su disposición.

Figura 8-6

Disposición adecuada para materiales estériles a partir de proceso minero





Figura 8-7

Proceso de Revegetalización de taludes en minería de materiales de construcción

PROCESO DE REVEGETALIZACIÓN DE TALUDES



1. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS PRELIMINAR

Identificación del tipo de talud: natural, excavado, escombrera, material estéril, etc.

2. SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE REVEGETALIZACIÓN ADECUADA

Siembra directa, hidrosiembra y plantas vivas.



3. PREPARACIÓN DEL SUSTRATO Y DEL TERRENO

- Preparar material mezclando tierra vegetal, abono orgánico y fertilizante.
- Asegurar que la superficie esté libre de irregularidades.
- Definir y acondicionar sistemas de drenaje.

4. SELECCIÓN DE ESPECIES VEGETALES

Especies nativas adecuadas al clima, suelo y altitud del sitio. Para estabilización a largo plazo, considerar plantas con sistema radicular profundo. En climas húmedos o en pendientes fuertes, usar combinaciones: (gramíneas + arbustos + cobertura vegetal)



5. IMPLEMENTACIÓN: SIEMBRA Y PLANTACIÓN

- Siembra con la mezcla seleccionada (semillas, fertilizante, mulch/fibra orgánica, agua).
- Colocación de cobertura protectora: cercas, barreras, señalización.

6. MANTENIMIENTO Y MONITOREO

- Riego adicional si el clima es seco o durante el establecimiento de especies.
- Control de malezas o especies invasoras que compitan con la vegetación establecida.
- Supervisión de estabilidad del talud.



7. EVALUACIÓN POST-INTERVENCIÓN

- Documenter resultados:
 - Tasa de supervivencia
 - Cobertura vegetal
- Ajustar plan si es necesario:
 - Cambios de especies
 - Refuerzos estructurales



Planeación del Seguimiento y control

Durante el planeamiento del proyecto minero, definir las actividades de seguimiento para la gestión del material estéril y el desempeño de las Zonas de Manejo de Escombros y Materiales de Excavación (ZODME). Establecer indicadores, frecuencia de seguimiento y registros que permitan evaluar la estabilidad de las terrazas y la recuperación de las áreas intervenidas.

La **Tabla 8-11** presenta un ejemplo de actividades de seguimiento y control.

Tabla 8-11
 Seguimiento y control de manejo de ZODME



Descripción		Periodicidad evaluación	Registro de Cumplimiento
Seguimiento al diseño y estabilidad de terrazas		Mensual	Registro fotográfico y registro en bitácora de campo.
Seguimiento a la revitalización de terrazas		Anual	Registro fotográfico con coordenada y registro en bitácora de campo.

8.3.1.2. Residuos sólidos ordinarios y peligrosos

La gestión de residuos sólidos ordinarios y peligrosos en las actividades mineras de extracción de Materiales de Construcción se enmarca en la identificación, separación, almacenamiento, recolección, transporte y disposición final adecuada de los residuos generados durante las fases de exploración, construcción y montaje, explotación, atendiendo a los lineamientos establecidos en el sector minero.

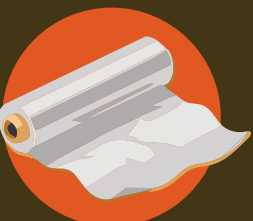
Durante el planeamiento del proyecto minero, identificar y clasificar los residuos sólidos ordinarios y peligrosos que se generarán en las diferentes etapas de la operación. Con base en esta información, definir las estrategias para su manejo, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final, de acuerdo con la normativa ambiental vigente.

En la **Figura 8-8**, se describe el tipo de residuo sólido, la fuente de generación, la selección en la fuente y la disposición final de los residuos producidos en la minería de explotación de Materiales de Construcción en procesos de formalización y pequeña minería.



Figura 8-8

Esquema para disposición adecuada de residuos sólidos

TIPO DE RESIDUO	FUENTE DE GENERACIÓN	SELECCIÓN EN LA FUENTE	DISPOSICIÓN FINAL
	Zonas de campamento y áreas de alojamiento		• Compostaje • Abono • Alimento para animales • Rellenos sanitarios
	Área administrativa y oficinas, Comedor, cafetería o cocina del campamento, Taller de mantenimiento de equipos menores		• Entrega a recicladores de oficio. • Entrega a gestores o empresas autorizadas. • Llevarlos a un centro de acopio interno
	Área administrativa y oficinas, Comedor, cafetería o cocina del campamento, Taller de mantenimiento de equipos menores, área de herramientas		• Entrega a recicladores de oficio. • Entrega a gestores o empresas autorizadas. • Llevarlos a un centro de acopio interno
	Zona de almacenamiento de combustibles y lubricantes, Taller de mantenimiento de maquinaria y equipos, Bodegas de almacenamiento de químicos, Puntos de mantenimiento eléctrico, Pozo Sépticos		• Entrega a gestores o empresas autorizadas

De igual forma, en la **Figura 8-9**, se presenta un ejemplo de la clasificación y manejo de residuos del punto ecológico y la selección del punto de Residuos peligrosos RESPEL, específicamente para la actividad de minería a cielo abierto para la explotación de Materiales de Construcción en los procesos de optimización para la formalización.



Figura 8-9

Selección de punto ecológico y punto RESPEL



Seguimiento y control residuos sólidos ordinarios y peligrosos

El seguimiento y control de los residuos sólidos ordinarios y peligrosos se basa en la evaluación continua de indicadores que permiten medir la eficacia en la implementación y operación de los diferentes puntos de gestión de residuos. Para ello se monitorea el procesamiento de los residuos orgánicos, la entrega de materiales aprovechables y la disposición adecuada de los residuos no aprovechables y residuos peligrosos, utilizando indicadores porcentuales que comparan las cantidades realmente gestionadas frente a las programadas.

Durante el planeamiento del proyecto minero, definir las actividades de seguimiento para verificar la gestión de los residuos sólidos ordinarios y peligrosos. Establecer los indicadores, la periodicidad de evaluación y los registros que permitan comprobar la correcta separación, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos.

La **Tabla 8-12** presenta un ejemplo de metodología de seguimiento y control que puede utilizarse como referencia para definir estos aspectos durante el planeamiento del proyecto.



Tabla 8-12

Seguimiento y control de residuos sólidos ordinarios y peligrosos.

Descripción		Periodicidad evaluación	Registro de Cumplimiento
Seguimiento a la implementación y entrega de punto de residuos sólidos Orgánicos		Mensual	Registro fotográfico con coordenadas, bitácoras de peso del material
Seguimiento a la implementación y adecuación de punto de residuos sólidos Aprovechables		Trimestral	Registro fotográfico con coordenadas, certificado de entrega
Seguimiento a la implementación y adecuación de punto de residuos sólidos No Aprovechables		Mínimo una vez a la semana	Registro fotográfico con coordenadas, bitácora de entrega
Seguimiento a la implementación y adecuación de punto de residuos sólidos Peligrosos		No mayor a 6 meses	Registro fotográfico con coordenadas, bitácora de entrega

8.3.2. Gestión del recurso hídrico desde el planeamiento

Según la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, el recurso hídrico se comprende como el conjunto de aguas superficiales, subterráneas, estuarinas y marinas presentes en el territorio nacional, que hacen parte del ciclo hidrológico y que permiten el desarrollo de las funcio-

nes ecológicas, sociales y económicas necesarias para la sostenibilidad ambiental, con esto entendemos que este es un recurso indispensable para el funcionamiento de los ecosistemas y el desarrollo humano.



Materiales de construcción

Los materiales de construcción, como arenas, gravas, triturados, cantos rodados, calizas y arcillas, son insumos esenciales para la producción de concretos, morteros, mezclas asfálticas y otros productos utilizados en obras civiles e infraestructura. Su explotación en canteras implica la remoción de roca mediante cortes, voladuras o trituración, lo que modifica el relieve, incrementa la generación de sedimentos y puede afectar la estabilidad del terreno y la calidad del agua por el manejo de es-tériles y escorrentías.

En este contexto, el planeamiento minero debe considerar desde sus etapas iniciales los impac-tos ambientales que pueden generarse durante la explotación, con el fin de incorporar medidas que permitan reducir sus efectos sobre el terreno, el recurso hídrico y los demás componentes am-bientales. La **Tabla 8-13** presenta los principales impactos asociados y las medidas de prevención y mitigación recomendadas.

Tabla 8-13

Identificación de impactos y ejemplos de buenas prácticas de minería de materiales de construcción sobre el recurso hídrico

SUBCAPÍTULO	ACTIVIDAD QUE LA CAUSA	IMPACTO Y/O FUENTE		BUENAS PRÁCTICAS DESDE EL PLANEAMIENTO MINERO	
Recurso hídrico – Cantera	Remoción de suelos, manejo inadecuado de taludes y escorrentía superficial		Incremento de sedimentación y turbidez en cuerpos de agua cercanos		Seleccione zonas de explotación con menor sensibilidad hídrica y verifique la exclusión de rondas hídricas, humedales, nacederos y drenajes naturales
	Cortes en ladera, modificación de drenajes naturales e interceptación de flujos subsuperficiales		Alteración de la dinámica hidrológica local		Incorpore en el diseño del proyecto sistemas de drenaje superficial, terrazas, taludes estabilizados y revegetación progresiva de las áreas intervenidas.
	Derrames durante operación y mantenimiento de maquinaria		Riesgo de contaminación puntual por hidrocarburos		Defina áreas impermeabilizadas y confinadas para el almacenamiento de combustibles y el mantenimiento de maquinaria, de acuerdo con las necesidades del proyecto.
	Compactación del suelo y pérdida de infiltración		Afectación a la recarga hídrica local		Considere medidas para minimizar las áreas de compactación y programe la recuperación progresiva de los suelos intervenidos.



La adopción de buenas prácticas desde el pla-neamiento minero, acompañada de programas de compensación y mecanismos de seguimiento y monitoreo, constituye un elemento esencial para reducir los riesgos y avanzar hacia una minería res-ponsable como se presenta en la **Figura 8-10**.



Figura 8-10

Ejemplo de planificación de seguimiento y monitoreo ambiental para minería de materiales de construcción

PLANIFICACIÓN DEL SEGUIMIENTO Y MONITOREO AMBIENTAL

PARA MINERÍA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



1 PLANIFICACIÓN DE LA VERIFICACIÓN DE LÍMITES OPERATIVOS

Definir los criterios y la periodicidad para verificar cumplimiento de los sectores autorizados, los volúmenes permitidos y las condiciones hidráulicas.



2 PLANIFICACIÓN DEL SEGUIMIENTO AL ESTADO DEL SUELO

Definir los aspectos que serán objeto de seguimiento para evaluar las condiciones del suelo.



3 SEGUIMIENTO MORFOLÓGICO

Establecer los criterios y la periodicidad para evaluar cambios morfológicos asociados a la extracción.



4 PLANIFICACIÓN DE LA INSPECCIÓN DE ESTABILIDAD

Definir la frecuencia y los criterios para verificar la estabilidad de taludes, drenajes y obras de control de erosión.



5 SEGUIMIENTO AL MANEJO DE DERRAMES Y RESIDUOS PELIGROSOS

Definir los mecanismos para verificar la aplicación de las medidas de prevención de derrames y el manejo adecuado de residuos peligrosos.

REGISTROS E INFORMACIÓN DE SOPORTE



Resultados de laboratorio e informes de monitoreo



Listas de chequeo y actas de inspección



Registros fotográficos



Registros de campo y topobatimetría



Reportes de operación, registros de caudal e informes de verificación



La información obtenida en el seguimiento y monitoreo permitirá evaluar el desempeño ambiental de la operación y adoptar acciones de mejora durante todas las etapas del proyecto.



8.3.3. Gestión de Emisiones Atmosféricas

La gestión de las emisiones atmosféricas en la extracción de materiales de construcción, tanto de material de arrastre como de cantera, es una práctica esencial para reducir impactos ambientales y proteger la salud de trabajadores y comunidades cercanas. Durante las etapas de extracción, cargue, transporte y procesamiento se generan principalmente emisiones de material particulado y gases de combustión, asociadas en el material de arrastre al manejo de sedimentos y, en el caso de cantera, a actividades como el arranque, perforación, voladu-

ra y trituración. En este contexto, el planeamiento minero debe prever medidas de prevención, control y seguimiento de las emisiones atmosféricas, incorporándolas en el diseño y programación de las operaciones para minimizar sus efectos y favorecer el cumplimiento de la normativa ambiental.

La **Tabla 8-14** presenta ejemplos de buenas prácticas que pueden incorporarse al planeamiento de la gestión de emisiones atmosféricas en la minería de materiales de construcción.

Tabla 8-14

Ejemplo de buenas prácticas y seguimiento y monitoreo en la Gestión de emisiones atmosféricas

Impacto y/o Fuente	Actividad que la causa	Buenas Prácticas Ambientales	Propuesta Seguimiento y Monitoreo		
			Descripción	Frecuencia de evaluación	Registro de Cumplimiento
Material particulado (Polvo)	Trituración, Clasificación, transporte, arranque del mineral (cuando es en cantera).	Encerramiento de trituradoras y puntos de transferencia.	Verificar integridad de cerramientos y fugas de polvo.	Mensual	Formato de inspección de planta / registro fotográfico
		Riego periódico de patios, pilas de almacenamiento y vías transitadas.	Verificación diaria de humedad del material y registro del uso de carrotanque.	Diario	Bitácora de riego / informe de operador
		Compactación de pilas para reducir dispersión eólica.	Supervisar que las pilas permanezcan compactas y sin erosión.	Semanal	Registro fotográfico / check operativo
		Cubrimiento temporal con geomembranas en acopios inactivos.	Inspección del estado del cubrimiento y fijación de las lonas.	Semanal	Registro fotográfico
		Construcción de vías en recebo o asfalto para reducir resuspensión.	Verificación del estado de las vías y presencia de baches que generen polvo.	Mensual	Acta de inspección
		Lavado de llantas en salida de planta para evitar arrastre de finos.	Revisión del funcionamiento del sistema de lavado y escurrimiento.	Diario	Bitácora de lavado
		Señalizar límites de velocidad y establecer control con	Confirmar que la señalización esté visible y que los vehículos cumplan los límites.	Semanal	Registro de vigilancia / reportes



8.3.4. Gestión de la biodiversidad y servicios ecosistémicos

La explotación de materiales de construcción en canteras implica la remoción de suelos, vegetación y rasgos geomorfológicos que sustentan la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Estas intervenciones alteran las dinámicas del territorio, por lo que su evaluación desde el planeamiento minero es clave para definir medidas que reduzcan la fragmentación, protejan áreas estratégicas y promuevan la restauración ecológica. En la **Tabla 8-15** se presentan los impactos identificados sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados a estas actividades.

Tabla 8-15.

Propuesta de ejemplo de Identificación de impactos y buenas prácticas en la minería de materiales de construcción sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos

Los impactos identificados en la tabla anterior evidencian que la minería de materiales de construcción puede generar afectaciones significativas sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos si no se incorporan criterios preventivos desde la planeación del proyecto. En este contexto, la gestión adecuada requiere una planificación que reconozca y proteja áreas estratégicas, mantenga la continuidad de hábitats y promueva la restauración progresiva de los ecosistemas intervenidos. Por ello, desde las etapas de planeamiento minero, es fundamental articular el diseño y la ejecución del proyecto con los instrumentos de planificación territorial y ambiental vigentes.

Para la evaluación de la minería de materiales de construcción desde los componentes de biodiversidad y servicios ecosistémicos se plantea un ejemplo de propuestas para el seguimiento y monitoreo de las intervenciones (**Figura 811**).

ACTIVIDAD QUE LA CAUSA	IMPACTO Y/O FUENTE	BUENAS PRÁCTICAS DESDE EL PLANEAMIENTO MINERO
Remoción de coberturas vegetales y alteración del relieve natural 	Eliminación de coberturas vegetales, pérdida de hábitats y alteración del paisaje	Excluya áreas de elevado valor ecológico, coberturas naturales y relictos de vegetación en el diseño de la explotación. 
Fragmentación de hábitats y aislamiento de áreas naturales 	Fragmentación de ecosistemas y pérdida de conectividad ecológica	Incorpore corredores ecológicos y zonas de conectividad para mantener el flujo de especies y procesos ecológicos. 
Intervención de rondas hídricas y áreas de drenaje 	Alteración de funciones hidrológicas, pérdida de hábitat acuático y afectación de la biodiversidad asociada	Conserve las rondas hídricas, zonas de amortiguación y cuerpos de agua en el diseño del proyecto. 
Disposición inadecuada de estériles y suelos removidos 	Degradación del suelo, contaminación y pérdida de servicios ecosistémicos	Planifique la revegetalización progresiva y la restauración de las áreas intervenidas y zonas de disposición. 
Presencia de ruido, polvo y tránsito de maquinaria 	Afectación a la fauna silvestre por ruido, molestias, disminución de hábitats y riesgo de atropellamiento	Defina medidas para minimizar afectaciones a la fauna, como zonas de amortiguación, límites de velocidad y señalización de tránsito de fauna. 



Figura 8-11

Ilustración del ejemplo de las medidas de seguimiento de intervenciones propuestas en la guía



8.3.5. Planeamiento de las áreas de beneficio y transformación de materiales de construcción

El beneficio corresponde al conjunto de operaciones físicas mediante las cuales el material extraído (arena, grava, roca, arcilla u otros materiales pétreos) es adecuado para su aprovechamiento y comercialización, sin que se modifique su composición química ni se desarrollen procesos industriales complejos de transformación.

Desde el punto de vista ambiental, estas actividades deben desarrollarse bajo los lineamientos establecidos en el Decreto 1076 de 2015, que regula la gestión ambiental de las actividades productivas y establece la obligación de prevenir, controlar y mitigar los impactos derivados del manejo de materiales, aguas de escorrentía, emisiones atmosféricas y ocupación del suelo.

En operaciones de pequeña y mediana escala, el beneficio de materiales de construcción comprende, principalmente, las siguientes acciones:

- Selección del material útil: Separación del material aprovechable de estériles o elementos no conformes, mediante revisión manual o clasificación mecánica.
- Trituración cuando el tipo de roca lo requiere: Reducción controlada del tamaño del material mediante equipos de trituración primaria o secundaria.
- Clasificación granulométrica: Separación del material por tamaños mediante zarandas o sistemas de cribado.



- Lavado del material (cuando aplica): Remoción de finos, arcillas o impurezas mediante sistemas de lavado.
- Manejo de finos y lodos generados: Recolección, confinamiento o disposición controlada del material fino proveniente del proceso de trituración o lavado.
- Acopio temporal y despacho del material clasificado: Almacenamiento provisional en áreas delimitadas previo a su transporte.

La transformación generalmente no implica procesos industriales complejos dentro del título minero, sino operaciones de acondicionamiento físico que permiten que el material cumpla especificaciones de tamaño, limpieza y homogeneidad exigidas por

el usuario final. En casos donde exista integración industrial, pueden desarrollarse procesos adicionales como fabricación de ladrillos o prefabricados.

Durante el planeamiento minero, verificar si el proyecto contempla actividades de beneficio y transformación de materiales de construcción y, de ser así, definir su ubicación considerando criterios técnicos, ambientales y de seguridad.

Definición de áreas de beneficio y transformación

La definición de estas áreas debe considerarse desde la etapa de planeamiento minero, integrando aspectos operativos, ambientales y de seguridad (Figura 8.-12).

Figura 8-12

Características del área de beneficio





La localización dependerá del método de explotación, el volumen proyectado de producción y las características geomorfológicas del sitio y deberá respetar las determinantes ambientales y los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes, respetando rondas hídricas, ocupación de cauce, compatibilidad con POMCA, gestión del riesgo de desastres, estabilidad hidráulica, estabilidad geotécnica, compatibilidad de uso del suelo y distancias respecto a asentamientos humanos.

Impactos Ambientales Asociados

Las actividades de trituración, clasificación, lavado y acopio pueden generar impactos ambientales si no se diseñan y operan bajo criterios técnicos adecuados, entre los cuales se destacan.



Tabla 8-16
 Ejemplo de Impactos ambientales asociados al proceso de beneficio de materiales de construcción

ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA
 TRITURACIÓN	EMISIÓN DE POLVO	HUMEDECIMIENTO Y ENCAPSULAMIENTO
 VOLADURA	VIBRACIONES	MONITOREO SISMOGRÁFICO
 ACOPIO	ARRASTRE DE SEDIMENTOS	DRENAJES PERIMETRALES
 MAQUINARIA	RUIDO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El beneficio debe concebirse como una operación de adecuación física planificada, incorporada desde el planeamiento minero y articulada con los instrumentos de planificación territorial, manejo ambiental y seguridad minera aplicable en la **Figura 8-13** se plantea una propuesta de buenas prácticas para minería de materiales de construcción.



Figura 8-13

Propuesta de buenas prácticas en el proceso de beneficio y transformación de los materiales de construcción

BUENAS PRÁCTICAS PARA EL PLANEAMIENTO DEL BENEFICIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		
ACTIVIDAD	IMPACTO POTENCIAL	CRITERIOS PARA EL PLANEAMIENTO
 EXPLOTACIÓN (PERFORACIÓN Y VOLADURA)	- Polvo - Ruido - Vibración - Remoción de cobertura	- Definir el plan de voladuras. - Incorporar medidas para el control del material particulado. - Prever barreras para el control de polvo y ruido. - Diseñar sistemas de encapsulamiento cuando sean requeridos. - Considerar equipos con control de ruido. - Planificar el manejo de aguas de contacto.
 ACOPIO Y ALMACENAMIENTO	- Polvo - Ruido - Arrastre de sedimentos - Contaminación por escorrentía	- Definir áreas impermeabilizadas para almacenamiento. - Incorporar cubiertas o barreras cuando sean necesarias. - Diseñar drenajes perimetrales. - Separar materiales por tipo de almacenamiento.
 CARGA Y TRANSPORTE INTERNO	- Polvo - Ruido - Vibración - Deterioro de vías	- Diseñar la red interna de circulación. - Definir rutas de transporte interno. - Incorporar medidas para el control del polvo en vías y cargadores. - Programar el mantenimiento preventivo de las vías.
 NOTA: Estos criterios deben incorporarse desde la etapa de planeamiento minero y articularse con los instrumentos de planificación territorial y ambiental vigentes.		



8.3.6. Gestión social integrada al planeamiento minero

En un proyecto minero, el planeamiento de la mina no solo responde a criterios técnicos y económicos, sino también a las dinámicas sociales del territorio. La relación con las comunidades y los acuerdos construidos con ellas influyen directamente en la viabilidad y desarrollo del proyecto. Por ello, los aspectos sociales pueden incidir en la definición del tamaño de la operación, la secuencia de explotación y los tiempos de ejecución del yacimiento, haciendo indispensable una gestión social integrada al proceso de planificación minera (**Figura 814**).



Figura 8-14

Guía para una gestión social responsable



En la **Tabla 8-17** se visualizan algunos ejemplos para el cálculo del factor modificador social.



Tabla 8-17
Ejemplos prácticos para el cálculo del factor modificar social

Ejemplo	Resultado en el planeamiento minero
Viviendas cercanas al yacimiento Durante la evaluación del proyecto se identifica que una parte del yacimiento se encuentra próxima a viviendas o centros poblados, lo que limita o impide su explotación por razones de seguridad y convivencia.	Se modifica el diseño de la mina excluyendo las áreas restringidas, lo que puede reducir las reservas explotables y requerir ajustes en la planificación de la explotación.
Conflictos con la comunidad Se presentan conflictos sociales o dificultades para el acceso a determinadas áreas del proyecto, lo que obliga a modificar la secuencia prevista de explotación.	Se ajusta el cronograma y la secuencia de minado, priorizando otros sectores del yacimiento hasta que se implementen las medidas de gestión social correspondientes.
Compromisos sociales o procesos de reasentamiento El proyecto requiere ejecutar programas de inversión social, adquisición de predios o procesos de reasentamiento, cuando estos sean aplicables.	Se incrementan los costos del proyecto y pueden modificarse los tiempos de ejecución, aspectos que deben incorporarse en la evaluación técnico-económica y en el planeamiento minero.



8.3.7. Cierre y Postcierre desde la Etapa de Planeamiento

El cierre y postcierre constituyen componentes fundamentales del planeamiento minero y deben ser considerados desde las etapas iniciales del proyecto, de manera que las actividades de recuperación, rehabilitación y restauración ambiental puedan integrarse progresivamente durante el desarrollo de la explotación.

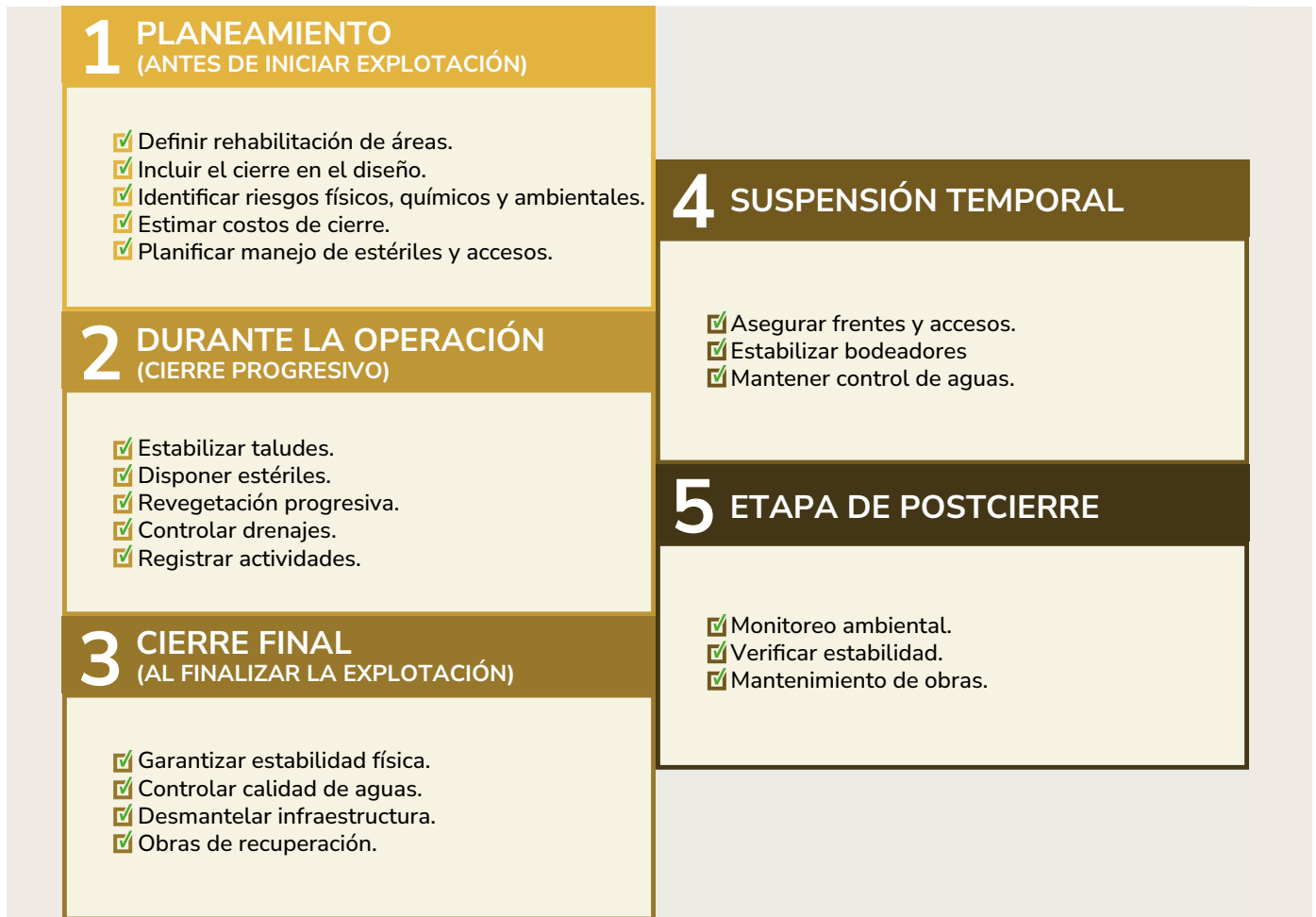
La incorporación anticipada de estas acciones facilita la planificación técnica y financiera del proyecto, permite estimar los costos asociados al cierre, reduce los pasivos ambientales y favorece el cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad minera y ambiental.

La **Figura 8-15** presenta una lista de verificación con los principales aspectos que deben considerarse para la planificación del cierre y postcierre, de acuerdo con la etapa de desarrollo del proyecto minero.



Figura 8-15

Lista de chequeo para cierre minero



8.4. Otras consideraciones ambientales

Además de las medidas de manejo ambiental definidas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos identificados, el planeamiento minero debe contemplar los requisitos administrativos y normativos necesarios para garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental vigente.

La incorporación de estos aspectos desde las etapas iniciales del proyecto facilita la obtención de los permisos, concesiones y demás autorizaciones requeridas, fortalece la planificación de las actividades operativas y contribuye al seguimiento y control ambiental durante todo el ciclo de vida de la explotación.

8.4.1. Permisos menores

Dependiendo de las características del proyecto y de los recursos naturales que se pretendan utilizar o intervenir, podrá ser necesario tramitar permisos, concesiones o autorizaciones ambientales ante la autoridad competente.

La identificación temprana de estos trámites permite incorporarlos oportunamente en el cronograma del proyecto, evitando retrasos en la ejecución de las actividades mineras y garantizando el cumplimiento de los requisitos técnicos y legales establecidos en la normatividad ambiental vigente.

La **Figura 8-16** presenta un esquema orientador para identificar los principales permisos, concesio-



nes y autorizaciones ambientales que pueden requerirse durante las diferentes etapas del proyecto minero, de acuerdo con las actividades previstas y los recursos naturales involucrados.

Figura 8-16

Definir la presentación de permisos menores



La **Tabla 8-18** presenta los principales permisos menores, concesiones y autorizaciones ambientales que pueden requerirse durante el desarrollo de proyectos de explotación de materiales de construcción. Su identificación temprana permite incorporarlos al planeamiento minero, programar oportunamente su trámite y reducir riesgos asociados a retrasos en la ejecución del proyecto por incumplimiento de requisitos ambientales.



Tabla 8-18

Permisos menores asociados al planeamiento minero

Permiso, concesión o autorización	Normatividad de referencia	¿Cuándo aplica?	Ejemplos de aplicación	Autoridad competente
Concesión de aguas superficiales	Decreto 1076 de 2015 y demás normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan. Art. 2.2.3.2.7.1 (obligatoriedad). Art. 2.2.3.2.9.1 (procedimiento).	Cuando el proyecto requiere captar agua directamente de ríos, quebradas, lagos, embalses o nacimientos para el desarrollo de las actividades mineras.	• Captar agua de una quebrada mediante motobomba para el lavado del material. • Utilizar agua superficial para el control de material particulado en vías internas. • Construir un reservorio abastecido por una fuente superficial.	Autoridad Ambiental Competente.
Concesión de aguas subterráneas	Decreto 1076 de 2015 y demás normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan. Art. 2.2.3.2.16.14 (obligatoriedad). Art. 2.2.3.2.9.1 (procedimiento).	Cuando el proyecto perfora o utiliza pozos profundos para el abastecimiento de agua.	• Perforar un pozo profundo para abastecer el campamento o la operación. • Utilizar un pozo existente como fuente de suministro. • Instalar equipos de bombeo para captar agua subterránea.	Autoridad Ambiental Competente.



Permiso de ocupación de cauce	Decreto 1076 de 2015 y demás normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan. Decreto Ley 2811 de 1974, art. 102.	Cuando el proyecto ejecuta obras que ocupan, modifican o intervienen el cauce de una corriente hídrica.	• Construir puentes o alcantarillas para el tránsito de maquinaria. • Ejecutar desvíos temporales de cauces. • Construir gaviones, box culverts o estructuras hidráulicas. • Instalar tuberías a través del cauce.	Autoridad Ambiental Competente.
Permiso de emisiones atmosféricas para fuentes fijas	Decreto 1076 de 2015 y demás normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan.	Cuando el proyecto instala equipos fijos que generan emisiones atmosféricas sujetas a control.	• Operar plantas de trituración, clasificación o beneficio de agregados. Nota: La maquinaria móvil (retroexcavadoras, cargadores, volquetas y tractores, entre otros) no requiere este permiso.	Autoridad Ambiental Competente.
Permiso de aprovechamiento forestal	Decreto 1076 de 2015 y demás normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan.	Cuando es necesario remover árboles o vegetación natural para el desarrollo del proyecto minero.	• Realizar el aprovechamiento forestal para habilitar bancos de explotación. • Remover vegetación para construir vías de acceso o infraestructura minera.	Autoridad Ambiental Competente.



Permiso de vertimientos	Decreto 1076 de 2015 y demás normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan.	Cuando el proyecto genera aguas residuales que serán descargadas a un cuerpo de agua o al suelo, conforme a la normatividad vigente.	• Descargar aguas provenientes del desagüe de la mina. • Verter aguas con sedimentos procedentes de sistemas de drenaje. • Disponer aguas residuales domésticas tratadas. • Infiltrar aguas tratadas autorizadas por la autoridad ambiental competente.	Autoridad Ambiental Competente.
--------------------------------	--	--	--	---------------------------------

8.4.2. Repositorios y herramientas de consulta ambiental para el planeamiento minero

La gestión ambiental de los proyectos mineros requiere consultar permanentemente la normatividad vigente y las herramientas técnicas desarrolladas por las autoridades competentes. Estos recursos constituyen un apoyo para la planificación del proyecto, la formulación de los instrumentos técnicos y ambientales, la identificación de obligaciones legales y la implementación de medidas de manejo acordes con las características de la explotación.

La **Tabla 8-19** presenta algunos de los principales repositorios y herramientas de consulta que pueden servir como apoyo durante las diferentes etapas del planeamiento minero.



Tabla 8-19.
Repositorio y herramientas ambientales

Documento	Descripción y consulta
Resolución 1830 de 2024. Términos de referencia para la Licencia Ambiental Temporal	Establece los términos de referencia para la formulación de la Licencia Ambiental Temporal en el marco del Plan Único de Legalización y Formalización Minera. Disponible en el portal del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Resolución 2206 de 2016. Términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (Licencia Ambiental Global)	Define los términos de referencia para la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental aplicables a proyectos mineros sujetos a licenciamiento ambiental.
Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Compila la reglamentación ambiental vigente, incluyendo permisos, concesiones, autorizaciones y demás instrumentos de gestión ambiental.
Guías Minero-Ambientales	Presentan orientaciones técnicas para la incorporación de buenas prácticas ambientales durante las diferentes etapas de los proyectos mineros.
Términos de referencia para la construcción del Plan de Gestión Social	Establecen los lineamientos para la formulación e implementación del Plan de Gestión Social en proyectos mineros.
Resolución 1256 de 2021	Reglamenta el uso de aguas residuales tratadas y establece las condiciones para su aprovechamiento, cuando resulte aplicable.
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	Define los lineamientos para la planificación, conservación y uso sostenible del recurso hídrico en Colombia.
Listado de Impactos Ambientales Específicos (2021)	Herramienta técnica del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para apoyar la identificación y priorización de impactos ambientales en proyectos sujetos a evaluación ambiental.



9. PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN FINANCIERA

La gestión financiera permite planificar, controlar y administrar los recursos de una operación minera, apoyando la toma de decisiones durante el planeamiento minero. En la pequeña minería de materiales de construcción, donde los márgenes de rentabilidad suelen ser limitados y muchas decisiones se toman con base en la experiencia del trabajo en cantera y los recursos disponibles, llevar un adecuado control financiero ayuda a conocer si la operación está generando los resultados esperados y si cuenta con los recursos necesarios para mantenerse en el tiempo.

Cuando no existe un control adecuado de los costos y de la producción, es frecuente subestimar los gastos reales o sobreestimar los volúmenes de extracción o de venta, lo que dificulta conocer la rentabilidad de la operación y puede afectar la disponibilidad de recursos para mantener la actividad minera. Por esta razón, este capítulo presenta herramientas y conceptos básicos que facilitan la identificación y el control de los costos, el segui-

miento de los resultados financieros y la toma de decisiones para mejorar la administración de la operación.

9.1. Identificación de costos directos e indirectos

Identificar y clasificar los costos permite conocer cuánto cuesta producir los materiales de construcción y estimar los recursos necesarios para desarrollar la operación minera. En la pequeña minería, donde los costos operativos influyen directamente en la rentabilidad, diferenciarlos adecuadamente facilita elaborar presupuestos, proyectar el costo de producción y apoyar decisiones relacionadas con la operación y las inversiones. En este apartado se presentan los principales conceptos para clasificar los costos y comprender cómo influyen en la planificación y el control financiero de una operación minera, iniciando con la diferencia entre el CAPEX y el OPEX.



9.1.1. CAPEX (Capital Expenditure)

El CAPEX (Capital Expenditure) corresponde a las inversiones destinadas a la adquisición, construcción, ampliación o mejoramiento de los activos que permitirán desarrollar la operación minera durante varios años. Estas inversiones incrementan la capacidad operativa del proyecto y constituyen la base física para la explotación del yacimiento.

En proyectos de explotación de materiales de construcción, el CAPEX puede incluir, entre otros:

- Adquisición de maquinaria de extracción, cargue y transporte.
- Plantas de trituración, clasificación y beneficio.
- Infraestructura eléctrica e hidráulica.

- Vías internas y obras civiles.
- Campamentos e instalaciones administrativas.
- Sistemas de almacenamiento y abastecimiento.
- Infraestructura ambiental requerida para el cumplimiento de la normatividad vigente.

Desde el punto de vista contable, estas inversiones se reconocen como activos y su valor se recupera gradualmente mediante procesos de depreciación o amortización, según corresponda, permitiendo distribuir su costo durante la vida útil de los bienes.

La **Figura 9-1** presenta los principales tipos de inversiones que hacen parte del CAPEX en proyectos de explotación de materiales de construcción.

Figura 9-1

Inversiones y activos a largo plazo (CAPEX)





Durante la etapa de planeamiento minero, es recomendable incorporar desde el inicio las inversiones requeridas para el cumplimiento de las obligaciones ambientales, sociales, de seguridad y de infraestructura, así como estimar los costos asociados a la obtención de permisos, la implementación de medidas de manejo ambiental y las actividades de cierre y postcierre.

Antes de ejecutar una inversión, se recomienda evaluar su efecto sobre la capacidad de producción, el flujo de caja, el nivel de endeudamiento y la rentabilidad del proyecto, con el propósito de priorizar aquellas inversiones que aporten mayor valor al desarrollo de una operación minera técnica, eficiente y sostenible.

9.1.2. OPEX

El OPEX (Operational Expenditure) corresponde a los costos y gastos operacionales recurrentes necesarios para garantizar el funcionamiento diario de una operación minera. A diferencia del CAPEX, estos desembolsos se generan de manera continua durante la explotación y deben ser cubiertos periódicamente para mantener la producción.

En la pequeña minería de materiales de construcción, el OPEX comprende, entre otros, los costos de mano de obra, combustible, lubricantes, energía eléctrica, insumos para trituración y clasificación, mantenimiento de maquinaria y equipos, repuestos, transporte interno, servicios contratados y actividades de gestión ambiental. Debido a su incidencia sobre el costo de producción, el seguimiento permanente de estos conceptos permite estimar con mayor precisión el costo por metro cúbico o tonelada producida y evaluar la rentabilidad de la operación.

Desde el punto de vista contable, el OPEX se reconoce como un gasto del período; por esta razón, su adecuado control contribuye a mantener la liquidez del proyecto y facilita la planificación financiera. Asimismo, dentro del OPEX deben contemplarse los costos ambientales recurrentes y las provisiones asociadas al cierre progresivo de la explotación, cuando correspondan.

La **Figura 9-2** presenta los principales costos y gastos operacionales que conforman el OPEX en proyectos de explotación de materiales de construcción.

Figura 9-2

Costos y gastos operacionales más comunes en la minería de materiales de construcción.





to, la mano de obra y los demás gastos operacionales, comparando los valores presupuestados con los costos reales de la operación. Este seguimiento permite identificar oportunidades de optimización, controlar el costo unitario de producción y mejorar la eficiencia económica del proyecto.

La **Figura 9-3** compara los conceptos de CAPEX y OPEX, destacando las principales diferencias entre las inversiones de capital y los costos operacionales. La comprensión de ambos conceptos constituye un elemento fundamental para la planificación financiera, ya que permite programar adecuadamente las inversiones, controlar los gastos operativos y proyectar el flujo de caja del proyecto minero.

Una adecuada gestión financiera requiere analizar conjuntamente el CAPEX y el OPEX. Mientras el primero determina las inversiones necesarias para desarrollar y ampliar la operación minera, el segundo refleja los recursos económicos requeridos para garantizar su funcionamiento cotidiano. El equilibrio entre ambos contribuye a mantener la sostenibilidad financiera del proyecto y facilita la toma de decisiones relacionadas con inversiones, productividad y rentabilidad.

9.1.3. Costo Fijos

Los costos fijos corresponden a aquellos gastos que permanecen relativamente constantes durante un período determinado, independientemente del nivel de producción. En la pequeña minería de materiales de construcción incluyen, entre otros, salarios administrativos y de supervisión, arrendamientos, seguros, licencias, vigilancia y algunos mantenimientos programados.

Figura 9-3
Comparación entre CAPEX y OPEX

SUSPENSIÓN TEMPORAL	SUSPENSIÓN TEMPORAL	SUSPENSIÓN TEMPORAL
Naturaleza	Inversión a largo plazo	Gasto del día a día
Horizonte Temporal	Beneficios en varios años	Beneficios en el período
Impacto en Balance	Aumenta activos	Sin impacto (solo efectivo)
En Cuenta de Resultados	Vía depreciación (gradual)	Directo (total en el período)
Tratamiento Fiscal	Deducción a lo largo del tiempo	Deducción inmediata
Ejemplos Comunes	Edificios, Maquinaria, Vehículos, Software propio	Salarios, Alquiler, Servicios, Marketing, Suministros
Objetivo	Crecer, Mejorar, Expandir	Operar, Mantener, Sostener



Aunque el valor total de estos costos suele mantenerse estable, su costo unitario disminuye cuando aumenta la producción y se incrementa cuando esta disminuye. Por esta razón, conocer su comportamiento permite planificar la producción, elaborar presupuestos y evaluar la rentabilidad de la operación.

9.1.4. Costos variables

Los costos variables corresponden a aquellos gastos que cambian en función del volumen de producción. A medida que aumenta la producción, se incrementa el consumo de recursos y, por consiguiente, los costos asociados; cuando la producción disminuye, estos costos también se reducen. En proyectos de explotación de materiales de construcción, los costos variables incluyen principalmente combustible, energía utilizada en trituración y clasificación, materiales de desgaste, explosivos cuando aplican, transporte de material, insumos operacionales y mano de obra directamente relacionada con la producción.

El seguimiento de estos costos permite estimar el costo unitario de producción y evaluar el efecto que tienen las variaciones en el nivel de extracción sobre la rentabilidad del proyecto.

9.1.5. Costos mixtos

Los costos mixtos combinan un componente fijo y otro variable; por ello, una parte de su valor permanece constante y otra depende del nivel de actividad de la operación minera.

En la minería de materiales de construcción es común encontrarlos en el consumo de energía eléctrica (carga fijo más consumo), el mantenimiento de maquinaria (programación preventiva más reparaciones por uso) y algunos esquemas de remuneración de personal (salario básico más incentivos por productividad).

La identificación de los costos mixtos permite estimar con mayor precisión el OPEX, elaborar proyecciones financieras más confiables y calcular el costo unitario de producción.

La **Figura 9-4** presenta la diferencia entre los costos fijos, variables y mixtos, facilitando su identificación durante la planificación financiera del proyecto.

Figura 9-4

Clasificación de los costos según su comportamiento





La adecuada clasificación de los costos fijos, variables y mixtos permite estimar con mayor precisión el costo por metro cúbico producido y elaborar presupuestos acordes con las necesidades de la operación. Además, facilita comprender cómo cambian los gastos según el nivel de producción, apoyando la planificación de la actividad minera y la toma de decisiones relacionadas con el control de los costos, la programación de las inversiones y el uso de los recursos disponibles. Diferenciar correctamente estos costos contribuye a mantener la rentabilidad de la operación y a mejorar la planificación financiera de la cantera.

9.1.6. Diferencias y semejanzas entre el costo directo e indirecto

Los costos directos e indirectos hacen parte del OPEX y corresponden a los gastos necesarios para el desarrollo de una operación de pequeña minería de materiales de construcción. La principal diferen-

cia entre ellos radica en su relación con la producción. Los costos directos se asocian directamente con las actividades de extracción, cargue, transporte, trituración y clasificación de los materiales, por lo que varían según el nivel de producción y permiten calcular el costo real por tonelada o metro cúbico producido. Por su parte, los costos indirectos corresponden a actividades que apoyan el funcionamiento de la operación, como la administración, la gestión ambiental y la seguridad, por lo que no pueden asociarse directamente a una unidad específica de producción. Diferenciar correctamente ambos tipos de costos facilita conocer cuánto cuesta producir, elaborar presupuestos más precisos y apoyar la toma de decisiones para mantener la rentabilidad de la operación.

La **Tabla 9-1** presenta un resumen comparativo de los principales tipos de costos en la minería de materiales de construcción, su definición, ejemplos y el impacto que tienen sobre los márgenes financieros.

Tabla 9-1
Resumen tipos de costos

Tipo de costo	Definición	Ejemplos en minería de materiales de construcción	Impacto principal
Costo directo	Costos que se pueden asociar directamente a la producción de materiales de construcción.	Sueldos de mineros que trabajan en extracción.	Afecta el margen bruto
Costo indirecto	Costos que no se pueden asignar directamente a una unidad de producción, pero son necesarios para operar.	Mantenimiento de maquinaria general o administración.	Afecta el margen operativo
Costo fijo	Costos que permanecen constantes independientemente de la producción.	Alquiler de equipos	Aumenta el costo unitario si baja la producción
Costo variable	Costos que cambian según el nivel de producción.	Combustible usado por carros y camiones.	Escala con la producción
Costo mixto	Tiene parte fija y parte variable	Servicio de energía eléctrica: pago base + consumo según horas de operación.	Requiere análisis detallado para proyecciones



En este tipo de operaciones, el desempeño financiero se evalúa generalmente mediante indicadores expresados por unidad de producción, como el costo por tonelada o por metro cúbico producido o vendido. Asimismo, el análisis del costo total de producción (costos directos e indirectos) y de indicadores como el margen bruto, el margen operativo y el margen neto facilita el seguimiento de la rentabilidad y la eficiencia económica de la explotación.

Este enfoque resulta especialmente útil en la pequeña minería, donde variaciones relativamente pequeñas en los costos operacionales pueden afectar de manera significativa la rentabilidad del proyecto. Por ello, el seguimiento periódico de estos indicadores permite comparar el desempeño entre diferentes periodos, identificar oportunidades de mejora y fortalecer la planificación financiera de la operación minera.

9.1.7. Recomendaciones para la identificación de costos directos e indirectos

En la pequeña minería de materiales de construcción, identificar correctamente los costos es fundamental para saber si la operación realmente es rentable. No basta con conocer el precio de venta; también es necesario entender cuánto cuesta producir una tonelada o metro cúbico y cuánto cuesta mantener la cantera funcionando.

Así, la **Figura 9-5** presenta las principales recomendaciones para una gestión adecuada de los costos.

Después de conocer los principales conceptos relacionados con los costos, es importante entender cómo una operación de materiales de construcción puede controlar sus gastos y hacer seguimiento a sus recursos financieros. En la pequeña minería, donde los recursos suelen ser limitados, una adecuada administración permite mantener el control de los costos, apoyar la toma de decisiones y contribuir a la continuidad y rentabilidad de la operación.

Figura 9-5

Recomendaciones de gestión de costos indirectos y directos



9.2. Control de gastos y recursos

El control de los gastos y los recursos en una operación de materiales de construcción requiere revisar periódicamente los estados financieros y analizar indicadores como los márgenes de rentabilidad, el flujo de caja y el capital de trabajo. Esta información permite conocer la situación financiera de la operación, controlar los gastos, verificar la disponibilidad de recursos y apoyar la toma de decisiones relacionadas con la producción, las in-



versiones y la continuidad de la actividad minera. A continuación, se presentan los principales estados financieros e indicadores utilizados para realizar este seguimiento.

9.2.1. Estados financieros

Los Estados financieros permiten conocer la situación económica de una operación de materiales de construcción y evaluar su desempeño en términos de ingresos, costos, deudas y capacidad para generar utilidades. En la pequeña minería, estos informes ayudan a determinar si la producción está cubriendo los costos de la operación, si existe suficiente liquidez para mantener la cantera en funcionamiento y si la actividad está generando los resultados esperados.

Además, los estados financieros muestran si la operación está obteniendo ganancias o pérdidas, si dispone de recursos para cubrir gastos como salarios, combustible e insumos, y si cuenta con la capacidad necesaria para cumplir sus compromisos financieros. También sirven para demostrar capacidad de pago ante entidades financieras, cumplir con las obligaciones tributarias ante la DIAN y fortalecer la formalidad de la actividad minera. A continuación, se presentan los principales estados financieros utilizados para analizar la situación económica de una operación minera.

9.2.1.1. Estado de Situación Financiera o Balance General

El Estado de Situación Financiera, tradicionalmente conocido como Balance General, es uno de los principales estados financieros utilizados para conocer la situación económica de una operación minera en una fecha determinada. Su análisis permite identificar los recursos disponibles, las obligaciones adquiridas y el patrimonio de la operación, proporcionando información para evaluar su solidez financiera y apoyar la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

Este estado financiero está conformado por tres elementos principales:

- **Activos:** bienes y derechos que posee la operación, como efectivo, cuentas por cobrar, inventarios de materiales, maquinaria, equipos e infraestructura.
- **Pasivos:** obligaciones financieras y compromisos pendientes de pago, como créditos, cuentas por pagar a proveedores, obligaciones laborales e impuestos.
- **Patrimonio:** corresponde a la diferencia entre los activos y los pasivos, representando los recursos propios de la operación.

La relación entre estos componentes se expresa mediante la siguiente ecuación contable:

$$\text{Activos} = \text{Pasivos} + \text{Patrimonio}$$

o de manera equivalente:

$$\text{Patrimonio} = \text{Activos} - \text{Pasivos}$$

Para las operaciones de pequeña minería de materiales de construcción, el Estado de Situación Financiera constituye una herramienta útil para evaluar la capacidad de pago, analizar el nivel de endeudamiento, estimar la disponibilidad de recursos para nuevas inversiones y respaldar la gestión de créditos o fuentes de financiación.

La **Figura 9-6** presenta un ejemplo simplificado de la estructura de un Estado de Situación Financiera aplicado a una operación de materiales de construcción.



Figura 9-6

Ejemplo Estado de Situación Financiera o Balance General

ESTADO DE SITUACIÓN FINANCIERA 31 de diciembre de 2023 y 2024								
(Cifras en miles de pesos colombianos – COP)								
ACTIVO	NOTA				PASIVO			
Activo corriente					Pasivo corriente			
Concepto	Nota	2025	2024		Concepto	Nota	2025	2024
Efectivo y equivalentes al efectivo	6	4.250.000	3.980.000		Cuentas por pagar comerciales	15	1.380.000	1.120.000
Otros activos financieros	6	1.920.000	1.280.000		Otras cuentas por pagar	16	640.000	590.000
Cuentas por cobrar comerciales	7	890.000	700.000		Otros pasivos financieros	17	820.000	700.000
Otras cuentas por cobrar	8	540.000	495.000		Pasivos por arrendamientos	18	310.000	295.000
Inventarios (mineral, insumos, repuestos)	9	1.130.000	1.050.000		Beneficios a los empleados	19	265.000	240.000
Gastos pagados por anticipado	10	185.000	160.000		Provisión ambiental (corriente)	20	180.000	165.000
Total activo corriente		8.915.000	7.725.000		Total pasivo corriente		3.595.000	3.170.000
Activo no corriente					Pasivo no corriente			
Otras cuentas por cobrar	8	210.000	190.000		Otras cuentas por pagar LP	16	90.000	110.000
Inversiones en asociadas	11	480.000	450.000		Otros pasivos financieros LP	17	1.950.000	1.720.000
Gastos pagados por anticipado LP	10	120.000	135.000		Pasivos por arrendamientos LP	18	540.000	600.000
Propiedades, planta y equipo (minería)	12	6.950.000	6.420.000		Provisión ambiental LP	20	1.120.000	980.000
Activos por derecho de uso	13	420.000	460.000		Pasivo por impuestos diferidos	22	420.000	395.000
Activos intangibles (licencias, software)	14	780.000	720.000		Total pasivo no corriente		4.120.000	3.805.000
Total activo no corriente		8.960.000	8.375.000		Total Pasivo		7.715.000	6.975.000
TOTAL ACTIVO		17.875.000	16.100.000		PATRIMONIO			
					Capital emitido	23	5.000.000	5.000.000
					Otras reservas de capital	24	1.050.000	900.000
					Resultados acumulados	25	2.610.000	2.125.000
					Total patrimonio		8.660.000	8.025.000
					TOTAL PASIVO+PATRIMONIO		16.375.000	15.000.000

El análisis periódico de este estado financiero permite identificar cambios en la estructura económica de la operación, evaluar la evolución del patrimonio y verificar si los activos disponibles son suficientes para atender las obligaciones adquiridas. Esta información constituye un insumo importante para la planificación financiera, la evaluación de inversiones y la sostenibilidad económica del proyecto minero.

9.2.1.2. Estado de Resultados (P&L)

El **Estado de Resultados** muestra si una operación de materiales de construcción obtuvo utilidades o pérdidas durante un periodo determinado y permite verificar si la producción está generando los resultados esperados. Parte de los ingresos obtenidos por la venta de los materiales, de los cuales se restan los costos directos de producción, como combustible, insumos operativos y mano de obra asociada a la extracción y al procesamiento, para obtener la utilidad bruta. Posteriormente se descuentan los gastos operativos, como los adminis-

trativos y los relacionados con el apoyo a la operación, y se calculan indicadores como el **EBITDA** y el **EBIT**, que ayudan a evaluar el desempeño operativo. Finalmente, al descontar los intereses y los impuestos se obtiene la utilidad neta, que representa el resultado final del periodo. Para el pequeño minero es importante entender que no todo lo que se recibe por las ventas corresponde a una ganancia, ya que primero es necesario cubrir todos los costos y obligaciones de la operación (**Figura 97**).



Figura 9-7
Estructura de un Estado de Resultados (P&L)

ESTADO DE RESULTADOS			
A 31 de diciembre de 2025 y 2024 (Cifras en miles de pesos colombianos – COP)			
Concepto	Nota	2025	2024
Ingresos por actividades mineras	28	12.850.000,00	13.400.000,00
Costo de ventas	29	(8.420.000,00)	(8.050.000,00)
Ganancia bruta		4.430.000,00	5.350.000,00
Gastos de operación			
Gastos de venta	30	(520.000,00)	(495.000,00)
Gastos de administración	31	(1.180.000,00)	(1.050.000,00)
Otros ingresos	35	210.000,00	185.000,00
Otros gastos	35	(265.000,00)	(290.000,00)
Resultado de operación		2.675.000,00	3.700.000,00
Resultado financiero			
Ingresos financieros	33	135.000,00	165.000,00
Costos financieros	33	(410.000,00)	(520.000,00)
Costo financiero neto		(275.000,00)	(355.000,00)
Utilidad antes de impuestos		2.400.000,00	3.345.000,00
Impuesto a las ganancias	27	(790.000,00)	(1.120.000,00)
RESULTADO DEL PERÍODO		1.610.000,00	2.225.000,00



Es recomendable revisar periódicamente el Estado de Resultados y comparar los valores proyectados con los resultados obtenidos, especialmente en aspectos como los ingresos por ventas, los costos directos de producción, los gastos operativos y los costos financieros. Este seguimiento permite identificar oportunamente las variaciones que puedan afectar la operación y tomar las medidas necesarias para controlar los costos y ajustar la planificación financiera, como se muestra en la **Figura 9-8**, este análisis puede complementarse con indicadores de producción y desempeño de la operación, facilitando una toma de decisiones más informada y una mejor administración de los recursos.



Figura 9-8

Recomendaciones para el análisis del Estado de Resultados



A partir del Estado de Resultados es posible analizar diferentes cuentas e indicadores que permiten evaluar la rentabilidad de una operación de materiales de construcción. Cada uno aporta información útil sobre el comportamiento de los ingresos, los costos, los gastos y las utilidades, por lo que es recomendable revisarlos periódicamente como apoyo para la planificación financiera y la toma de decisiones. A continuación, se presentan los principales indicadores que se recomienda monitorear.

9.2.2. Ingresos

En la minería de materiales de construcción, los ingresos corresponden al dinero obtenido por la venta del material y se calculan a partir de los metros

cúbicos o toneladas vendidas y su precio de venta. Este valor constituye el punto de partida para evaluar la rentabilidad de la operación; sin embargo, también es importante analizar el comportamiento de las ventas, las variaciones en el precio del material y la calidad del producto, ya que estos factores influyen directamente en los ingresos obtenidos. Cambios en cualquiera de estas variables pueden afectar la rentabilidad de la operación y la planificación financiera del proyecto minero.

9.2.3 Costos

En la minería de materiales de construcción, los costos corresponden a los recursos económicos necesarios para extraer, procesar y comercializar el



material, incluyendo la mano de obra, el combustible, los insumos operativos, el mantenimiento de equipos, el transporte y los elementos de seguridad. Estos pueden ser directos, cuando se relacionan directamente con la producción, o indirectos, cuando apoyan el funcionamiento de la operación. Analizar la estructura de costos permite conocer cuánto cuesta producir cada metro cúbico o tonelada de material, identificar oportunidades de mejora y apoyar la toma de decisiones, ya que aumentar la producción no garantiza una mayor rentabilidad si los costos también aumentan.

9.2.4. EBITDA

El EBITDA permite conocer la capacidad que tiene una operación de materiales de construcción para generar recursos a partir de su actividad principal, antes de descontar los intereses, los impuestos, las depreciaciones y las amortizaciones. Este indicador facilita evaluar el desempeño operativo de la cantera sin considerar los efectos de la financiación o del desgaste contable de la maquinaria y los equipos. En la pequeña minería, el EBITDA ayuda a verificar si la producción está generando recursos suficientes para cubrir los costos propios de la operación. Un EBITDA positivo indica que la actividad minera está produciendo recursos antes de asumir las obligaciones financieras y tributarias; por el contrario, un EBITDA negativo evidencia que los ingresos obtenidos no son suficientes para cubrir los costos operativos, por lo que es necesario revisar la producción, los costos o ambas.

9.2.5. EBIT o utilidad operativa

El EBIT, o utilidad antes de intereses e impuestos, permite evaluar la rentabilidad de una operación de materiales de construcción después de considerar la depreciación y la amortización de sus activos. Esto significa que, además de los costos y gastos operativos, tiene en cuenta el desgaste de la maquinaria, los equipos y la infraestructura utilizados en la producción. En la pequeña minería, donde las

inversiones en excavadoras, plantas de trituración y clasificación, vías internas y patios de acopio representan una parte importante del proyecto, este indicador ofrece una visión más completa del desempeño de la operación.

A diferencia del EBITDA, el EBIT incorpora el efecto de la depreciación y la amortización, por lo que permite evaluar si la operación está generando utilidades suficientes para mantener y renovar sus activos a lo largo del tiempo. Este análisis resulta especialmente útil en actividades donde la maquinaria y los equipos trabajan de manera continua y requieren mantenimiento, reposición o reemplazo durante su vida útil.

Un EBIT positivo y estable indica que la operación no solo está obteniendo buenos resultados operativos, sino que también cuenta con una base financiera que favorece el mantenimiento y la renovación de sus activos, contribuyendo a la continuidad de la producción y a una mejor planificación de las inversiones futuras.

9.2.6. Utilidad neta

La utilidad neta es el resultado final obtenido por una operación de materiales de construcción después de descontar los costos, los gastos, las depreciaciones, las amortizaciones, los intereses y los impuestos. Este indicador permite conocer si la actividad está generando utilidades y si está contribuyendo al crecimiento del patrimonio de la operación. En la pequeña minería, la utilidad neta es un indicador clave para evaluar la rentabilidad del negocio, la capacidad de realizar nuevas inversiones, cumplir con las obligaciones financieras y afrontar cambios en las condiciones del mercado. Una utilidad neta positiva y estable refleja una operación con buenos resultados económicos, mientras que una utilidad neta negativa indica la necesidad de revisar aspectos como la producción, los costos o los precios de venta.



Esquema simplificado:

Ingresos – Costos – Gastos – Impuestos = Utilidad neta (ganancia o pérdida)

El Estado de Resultados sirve como base para la determinación de las obligaciones tributarias ante la DIAN. Por esta razón, es importante que los ingresos, los costos y los gastos se registren correctamente, ya que errores en su cálculo pueden generar pagos inadecuados de impuestos o incumplimientos que deriven en sanciones.

9.2.7. Márgenes

Los márgenes financieros permiten evaluar cuánto de los ingresos obtenidos por la venta de los materiales de construcción permanece disponible después de cubrir los diferentes costos y gastos de la operación. Para calcularlos, se comparan los ingresos por ventas con los costos de producción, los gastos operativos y las demás obligaciones que afectan el resultado financiero. En la pequeña minería, estos indicadores ayudan a conocer cómo la estructura de costos y los gastos de la operación influyen en la rentabilidad del negocio y facilitan el seguimiento de su desempeño financiero.

Como se observa en la Figura 99, los márgenes de rentabilidad presentan un comportamiento descendente (margen bruto, operativo y neto), debido a que cada uno incorpora progresivamente más costos, gastos y obligaciones financieras hasta llegar al resultado final de la operación.

Figura 9-9

Tipos de márgenes de rentabilidad

9.2.7.1. Margen bruto

El margen bruto muestra cuánto de los ingresos obtenidos por la venta de los materiales de construcción permanece disponible después de cubrir los costos directos de producción, sin considerar todavía los gastos administrativos, financieros o los impuestos. Este indicador permite evaluar si los ingresos generados por la operación son suficientes para cubrir los costos de extracción y procesamiento del material.

Para calcularlo, se restan los costos directos de producción (como insumos, mano de obra operativa y energía) de los ingresos por ventas y el resultado se divide entre esos mismos ingresos para obtener un porcentaje. Un margen bruto elevado indica que la operación mantiene un buen control sobre sus costos de producción, lo que le permite afrontar con mayor facilidad variaciones en los precios de venta o incrementos en los costos de operación.

Margen bruto = (Ingresos por ventas – Costos directos de producción) / Ingresos por ventas

Por ejemplo, si aumenta el precio de los materiales de construcción, pero al mismo tiempo también aumentan los costos de insumos como la energía, el combustible o el mantenimiento de los equipos, el margen bruto permite evaluar si el incremento en los ingresos es suficiente para compensar esos mayores costos. Un margen bruto alto indica que la operación mantiene un buen control sobre sus costos de producción y está en mejores condiciones para afrontar aumentos en los costos operativos o variaciones en el mercado sin afectar de manera significativa su rentabilidad.





9.2.7.2. Margen operativo

El margen operativo muestra la rentabilidad de una operación de materiales de construcción después de descontar no solo los costos directos de producción, sino también los gastos necesarios para administrar y mantener la operación, antes de considerar los intereses y los impuestos. Este indicador permite evaluar si la actividad minera genera recursos suficientes para cubrir los costos y gastos propios de su funcionamiento y mantener una operación rentable.

El margen operativo se calcula restando de los ingresos por ventas los costos directos de producción y los gastos operativos y administrativos; posteriormente, este resultado se divide entre los ingresos por ventas para obtener un porcentaje.

$$\text{Margen operativo} = \text{Utilidad operativa (EBIT)} / \text{Ingresos por ventas}$$

(donde la utilidad operativa = ingresos por ventas – costos directos – gastos operativos y administrativos)

Los gastos operativos incluyen la administración, la gestión ambiental, la seguridad y salud en el trabajo, el mantenimiento no relacionado directamente con la producción, los costos asociados al cumplimiento de la normatividad y las depreciaciones, que corresponden al desgaste contable de las inversiones realizadas en maquinaria, equipos e infraestructura (CAPEX).

Por ejemplo, una operación de materiales de construcción puede presentar un margen bruto positivo, pero un margen operativo menor cuando aumentan los gastos administrativos, ambientales o de seguridad. Este indicador permite evaluar cómo estos costos influyen en la rentabilidad de la operación y facilita la identificación de oportunidades para mejorar el control de los gastos y la planificación financiera.

9.2.7.3. Margen neto

El margen neto muestra cuánto de los ingresos obtenidos por la venta de los materiales de construcción permanece como utilidad después de cubrir todos los costos, los gastos, los intereses y los impuestos. Este indicador permite conocer cuánto de cada peso recibido por las ventas representa realmente una ganancia para la operación. El margen neto se calcula dividiendo la utilidad neta entre los ingresos por ventas y generalmente se expresa como un porcentaje.

$$\text{Margen neto} = \text{Utilidad neta} / \text{Ingresos por ventas}$$

El margen neto refleja el resultado final de la operación, ya que incorpora todos los costos, gastos, intereses, impuestos, regalías y demás obligaciones propias de la actividad minera. En la minería de materiales de construcción, este indicador puede verse afectado por factores como la carga tributaria, el pago de regalías, los costos financieros y las variaciones en la demanda o en los precios del mercado. Por esta razón, una operación puede presentar buenos resultados operativos y, aun así, obtener una utilidad final menor debido a estos compromisos.

Los márgenes de rentabilidad deben analizarse de forma conjunta, ya que cada uno muestra una etapa diferente del desempeño financiero de la operación. Mientras el margen bruto refleja el efecto de los costos directos de producción, el margen operativo incorpora los gastos necesarios para el funcionamiento de la cantera y el margen neto presenta el resultado final después de considerar todas las obligaciones. Su análisis conjunto facilita una mejor comprensión de la rentabilidad de la operación y apoya la toma de decisiones financieras.

9.2.8. Capital de Trabajo y KTNO

El capital de trabajo corresponde a los recursos financieros que una operación de materiales de construcción requiere para atender sus obligacio-



nes de corto plazo y garantizar la continuidad de las actividades productivas mientras se generan los ingresos por la venta del material extraído. Se calcula como la diferencia entre los activos corrientes (efectivo, cuentas por cobrar e inventarios) y los pasivos corrientes (cuentas por pagar y demás obligaciones de corto plazo).

Dentro de este análisis, el Capital de Trabajo Neto Operativo (KTNO) considera únicamente los activos y pasivos corrientes directamente asociados con la operación minera, como las cuentas por cobrar derivadas de las ventas, los inventarios y las cuentas por pagar a proveedores y contratistas. Este indicador permite estimar los recursos que la operación necesita para desarrollar normalmente sus actividades sin afectar su liquidez.

Una adecuada gestión del capital de trabajo contribuye a garantizar la disponibilidad de recursos para cubrir los costos operacionales, cumplir oportunamente las obligaciones financieras y mantener la continuidad de la producción. Asimismo, durante la evaluación financiera de un proyecto minero, el capital de trabajo se considera una inversión inicial necesaria para iniciar la operación, ya que estos recursos deben estar disponibles desde las primeras etapas del proyecto y, generalmente, se recuperan al finalizar su vida útil.

La **Figura 9-10** ilustra la importancia del capital de trabajo dentro de la planificación financiera de una operación minera y su relación con la liquidez y la continuidad de las actividades.

Figura 9-10

Capital de trabajo





El capital de trabajo está estrechamente relacionado con el ciclo operativo de la empresa, entendido como el tiempo transcurrido entre el pago de los insumos, materiales y servicios requeridos para la producción y el recaudo de los ingresos provenientes de la venta de los materiales de construcción. La adecuada administración de este ciclo permite reducir la necesidad de financiación de corto plazo, mejorar la liquidez y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Durante la formulación y evaluación financiera de proyectos mineros, una estimación adecuada del capital de trabajo resulta fundamental para calcular correctamente el flujo de caja y evaluar indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión. Subestimar este componente puede afectar la confiabilidad de los resultados financieros y la toma de decisiones.

La **Figura 9-11** presenta la relación entre los principales componentes del Capital de Trabajo Neto Operativo (KTNO) y su incidencia en la disponibilidad de recursos para la operación.

Figura 9-11
KTNO

$$KTNO = (Cuentas\ por\ Cobrar + Inventarios) - Cuentas\ por\ Pagar$$

Como buena práctica de planeamiento financiero, se recomienda monitorear periódicamente las cuentas por cobrar, los niveles de inventario y las cuentas por pagar, ya que estos elementos determinan el comportamiento del KTNO y la liquidez de la operación. Incorporar este análisis dentro de la planificación financiera permite anticipar las necesidades de recursos, reducir la dependencia de créditos de corto plazo y fortalecer la capacidad de la empresa para responder a variaciones en los costos, los niveles de producción y las condiciones del mercado.

9.2.9. Flujo de Caja

El flujo de caja muestra el dinero que realmente entra y sale de una operación de materiales de construcción durante un periodo determinado. A diferencia de la utilidad, que refleja el resultado contable de la operación, el flujo de caja permite conocer si existen recursos disponibles para atender gastos como el pago a proveedores, salarios, combustible y demás obligaciones de corto plazo. Por esta razón, una operación puede presentar utilidades y, aun así, tener dificultades para disponer de efectivo, por ejemplo, cuando las ventas aún no se han cobrado o cuando una parte importante de los recursos permanece en inventarios.

Además de facilitar el control de la liquidez, el flujo de caja sirve para planificar inversiones, programar pagos y anticipar la necesidad de recursos cuando cambian las condiciones del mercado. También es un indicador utilizado por entidades financieras para evaluar la capacidad de pago de una empresa. Un seguimiento periódico del flujo de caja permite identificar oportunamente faltantes de efectivo y adoptar medidas que contribuyan a mantener la continuidad de la operación.

En la minería de materiales de construcción, este seguimiento es especialmente importante debido a las inversiones en maquinaria, el mantenimiento de equipos, la adecuación de frentes de explotación y el capital de trabajo necesario para sostener la producción. Por ello, una operación puede presentar indicadores como el EBIT o el EBITDA positivos y, aun así, tener una baja disponibilidad de efectivo debido a inversiones elevadas, aumentos en el capital de trabajo o pagos de obligaciones financieras.

En este contexto, el flujo de caja libre (FCL) muestra los recursos que quedan disponibles después de cubrir los costos de operación, las inversiones y las necesidades de capital de trabajo. Cuando el capital de trabajo aumenta, una mayor parte del efectivo se destina a financiar la operación y disminuye la disponibilidad de recursos; por el con-



trario, cuando el capital de trabajo disminuye, se libera efectivo que puede destinarse al pago de obligaciones o a nuevas inversiones. La presenta la estructura de cálculo del Flujo de Caja Libre, mostrando la relación entre los ingresos operativos, los costos, el EBITDA, las inversiones en CAPEX, las variaciones del capital de trabajo y los recursos disponibles al finalizar el periodo **Tabla 9-2** presenta la estructura de cálculo del Flujo de Caja Libre, mostrando la relación entre los ingresos operativos, los costos, el EBITDA, las inversiones en CAPEX, las variaciones del capital de trabajo y los recursos disponibles al finalizar el periodo.

La siguiente gráfica tipo cascada, presenta un escenario óptimo de flujo de caja para una operación de minería de materiales de construcción. Se puede visualizar de manera clara la capacidad del proyecto para generar caja suficiente, mantener sus obligaciones y conservar un margen positivo que garantice sostenibilidad y estabilidad financiera.

Figura 9-12
Flujo de caja libre

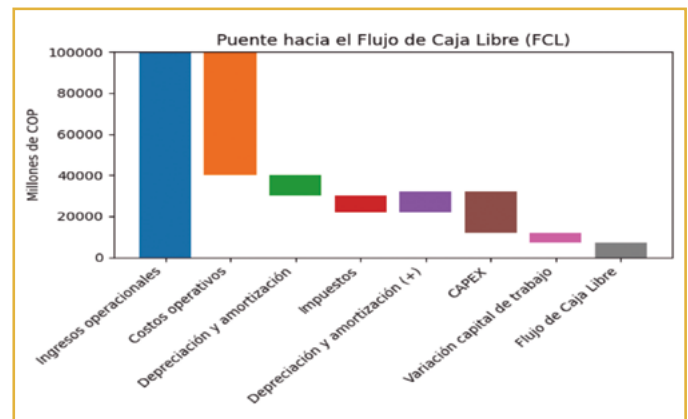


Tabla 9-2
Flujo de caja libre

Concepto	Descripción
Ingresos operacionales	Ventas del proyecto (por ejemplo, venta de arena y grava)
(-) Costos operativos	Costos directos de producción y operación
(=) EBITDA	Resultado antes de depreciaciones, amortizaciones, intereses e impuestos
(-) Depreciación y amortización	Consumo contable de los activos productivos
(=) EBIT	Resultado operativo
(-) Impuestos	Impuestos asociados a la operación (sin efectos financieros)
(=) NOPAT	Utilidad operativa después de impuestos
(+) Depreciación y amortización	Se suman porque no implican salida real de caja
(-) CAPEX	Inversiones en activos fijos (maquinaria, infraestructura, equipos)
(- / +) Variación del capital de trabajo	Aumento o liberación de capital de trabajo
(=) Flujo de Caja Libre (FCL)	Caja disponible para inversionistas y acreedores



9.2.10. Recomendaciones generales para el control de gastos y recursos

En la pequeña minería de materiales de construcción, el control de gastos es clave para la sostenibilidad de la operación. Por ello, la **Figura 9-13** presenta algunas recomendaciones sobre la gestión del control de gastos y recursos como una pieza fundamental para mejorar y/o mantener la rentabilidad del proyecto minero.

Figura 9-13

Recomendaciones para el control de gastos y recursos



RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE GASTOS EN MINERÍA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

REGISTRAR PRODUCCIÓN Y GASTOS (M³)
Mantener un registro constante de la producción y los principales costos como combustible, nómina y mantenimiento permite calcular el costo real por tonelada.

SEPARAR FINANZAS DE LA CANTERA
Dividir las finanzas personales de las del negocio y llevar registros claros de ingresos y egresos mejora el control financiero y facilita el acceso a crédito.

ANALIZAR EL COSTO POR METRO CÚBICO
Dividir el total de gastos entre la producción obtenida permite determinar si el precio de venta genera utilidad o si se trabaja con márgenes insuficientes.

CONTROLAR COMBUSTIBLE Y MANTENIMIENTO
Monitorear el consumo de combustible y realizar mantenimiento preventivo ayuda a reducir paradas costosas y evita que aumente el costo por metro cúbico.

VALORAR ESCENARIOS Y PREVER COSTOS DE INSUMOS
Evaluar el impacto de precios fluctuantes del cemento, asfalto y energía, así como otros costos operativos, permite adaptar la estrategia ante cambios en el mercado.

MANTENER CAPITAL DE TRABAJO EN EL CICLO
En la minería de agregados, el control de gastos permite conocer mejor la situación financiera, reducir riesgos y tomar decisiones informadas durante todo el ciclo de venta.

En la minería de materiales de construcción, las proyecciones operativas permiten estimar la producción futura y anticipar cómo puede comportarse la operación bajo diferentes escenarios. Al proyectar los volúmenes de extracción, los precios esperados, la capacidad de procesamiento y las condiciones de transporte y despacho, es posible prever cambios en la producción, identificar variaciones en la demanda y ajustar oportunamente los costos de

operación. Esta información facilita la planificación de la cantera, el uso de los recursos disponibles y la toma de decisiones para mantener una operación rentable.

Las proyecciones financieras permiten estimar cómo puede comportarse una operación de minería de materiales de construcción en los próximos años y constituyen una base para planificar las



inversiones, los costos, los ingresos y las necesidades de recursos. Para elaborarlas se analiza la información disponible de la operación, como las ventas, los costos de extracción y procesamiento, los gastos operativos y las inversiones en maquinaria e infraestructura. Esta información se complementa con las metas de producción, las condiciones del mercado y los supuestos técnicos que orientan el desarrollo del proyecto.

En estas proyecciones también se consideran factores externos que pueden influir en los resultados de la operación, como la inflación, las tasas de interés, la tasa de cambio, el comportamiento de los precios de los materiales de construcción y las condiciones del mercado. Asimismo, se tienen en cuenta aspectos propios de la actividad minera, como los volúmenes de producción previstos, la vida útil del yacimiento, los costos de operación y las obligaciones ambientales y normativas.

Al integrar esta información, las proyecciones financieras permiten evaluar diferentes escenarios, desde condiciones favorables de producción y comercialización hasta situaciones en las que aumentan los costos o disminuye la demanda. Esto ayuda a planificar las inversiones, anticipar posibles riesgos y tomar decisiones que contribuyan a mantener una operación rentable y con un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

A continuación, se presentan los principales aspectos relacionados con la proyección de ventas, costos, imprevistos y rentabilidad en operaciones de minería de materiales de construcción, como apoyo para la planificación financiera del proyecto.

Ejemplo de proyección mensual de ingresos y resultados financieros

Supuestos técnicos y comerciales

Concepto	Valor
Producción mensual	3.000 m ³
Material explotado	Arena para concreto y mortero
Precio promedio de venta	\$30.000 COP/m ³
Costo operativo unitario (OPEX)	\$18.000 COP/m ³
Depreciación mensual (CAPEX)	\$8.000.000 COP
Gastos financieros mensuales	\$3.000.000 COP
Impuesto sobre la renta (ejemplo)	35 %

Con base en estos supuestos, se obtiene la siguiente proyección financiera mensual.

Tabla 9-3

Ejemplo simplificado de Estado de Resultados mensual

Concepto	Cálculo	Valor (COP)
Ingresos operacionales	3.000 m ³ × \$30.000	\$90.000.000
Costos operativos (OPEX)	3.000 m ³ × \$18.000	\$54.000.000
EBITDA	Ingresos – OPEX	\$36.000.000
Depreciación (CAPEX)	Valor estimado mensual	\$8.000.000
EBIT (Utilidad Operativa)	EBITDA – Depreciación	\$28.000.000
Gastos financieros	Intereses	\$3.000.000
UAI (Utilidad Antes de Impuestos)	EBIT – Intereses	\$25.000.000
Impuesto sobre la renta (35 %)	35 % × UAI	\$8.750.000
Utilidad Neta	UAI – Impuesto	\$16.250.000



Este ejemplo muestra cómo los ingresos obtenidos por la venta del material extraído permiten cubrir los costos operacionales, reconocer el efecto de las inversiones mediante la depreciación, atender las obligaciones financieras y estimar la utilidad neta del proyecto. Aunque los valores utilizados son ilustrativos, la metodología puede adaptarse a las condiciones técnicas y económicas de cada operación minera.

La interpretación conjunta del EBITDA, el EBIT, la Utilidad Antes de Impuestos y la Utilidad Neta proporciona información para evaluar la rentabilidad de la explotación, analizar el impacto de los costos y apoyar la toma de decisiones durante la planificación financiera y el planeamiento minero.

Este ejercicio muestra que, en la minería de materiales para construcción, la rentabilidad está fuertemente determinada por el control del costo por metro cúbico y por la estabilidad del mercado local. Una adecuada proyección financiera permite anticipar la capacidad real de generar utilidades, planificar inversiones futuras y asegurar la sostenibilidad económica del proyecto dentro del marco legal y ambiental colombiano.

9.2.11. Proyecciones financieras y el entorno macroeconómico

Las as proyecciones financieras constituyen una herramienta fundamental para la planificación y evaluación económica de una operación de materiales de construcción, ya que permiten estimar la producción, los ingresos, los costos y la rentabili-

Tabla 9-4
Proyecciones financieras

Concepto	Descripción
Ingresos operacionales	Ventas del proyecto (por ejemplo, venta de arena y grava)
(-) Costos operativos	Costos directos de producción y operación
(=) EBITDA	Resultado antes de depreciaciones, amortizaciones, intereses e impuestos
(-) Depreciación y amortización	Consumo contable de los activos productivos
(=) EBIT	Resultado operativo
(-) Impuestos	Impuestos asociados a la operación (sin efectos financieros)
(=) NOPAT	Utilidad operativa después de impuestos
(+) Depreciación y amortización	Se suman porque no implican salida real de caja
(-) CAPEX	Inversiones en activos fijos (maquinaria, infraestructura, equipos)
(- / +) Variación del capital de trabajo	Aumento o liberación de capital de trabajo
(=) Flujo de Caja Libre (FCL)	Caja disponible para inversionistas y acreedores



dad esperada del proyecto. Su elaboración facilita determinar la viabilidad económica de la explotación, planificar las inversiones y evaluar la capacidad de la operación para recuperar el capital invertido y generar beneficios sostenibles en el tiempo.

Además de la información técnica y operativa del proyecto, como los volúmenes de producción, los costos de extracción, procesamiento, transporte y mantenimiento, las proyecciones financieras deben considerar variables externas que pueden influir en el comportamiento del mercado y en los resultados económicos de la operación.

Entre estas variables se encuentran el crecimiento de la actividad económica, la inversión en infraestructura, vivienda y obras civiles, factores que inciden directamente en la demanda de materiales de construcción. En períodos de mayor dinamismo económico suele incrementarse el consumo de agregados, arenas, gravas, calizas y otros materiales utilizados por el sector de la construcción, mientras que una desaceleración económica puede reducir la demanda y afectar los niveles de producción y ventas.

La inflación constituye otro factor relevante, debido a que puede incrementar los costos asociados al combustible, la energía, los repuestos, el transporte, los insumos y la mano de obra, generando aumentos en el costo unitario de producción. De igual forma, las variaciones del Salario Mínimo Mensual Legal Vigente (SMMLV) inciden directamente en los costos laborales y, por tanto, en los gastos operacionales de la explotación.

Por otra parte, la Tasa Representativa del Mercado (TRM) y las tasas de interés pueden influir en el costo de adquisición de maquinaria, equipos, repuestos e insumos importados, así como en el valor de las obligaciones financieras cuando la operación requiere créditos para financiar inversiones o capital de trabajo.

Incorporar estas variables dentro de las proyecciones financieras permite desarrollar análisis de es-



cenarios, evaluar la sensibilidad del proyecto frente a cambios en el entorno económico y anticipar posibles efectos sobre los costos, los ingresos, el flujo de caja y la rentabilidad de la operación. Este análisis fortalece el proceso de planeamiento minero, al proporcionar información para programar inversiones, optimizar los recursos disponibles y adoptar decisiones oportunas frente a las condiciones del mercado.

La **Figura 9-14** presenta de manera esquemática la relación entre las principales variables macroeconómicas y su influencia sobre la planificación financiera de una operación de materiales de construcción.



Figura 9-14

Influencia del entorno macroeconómico en las proyecciones financieras de una operación minera de materiales de construcción.



Al elaborar las proyecciones financieras de una operación de materiales de construcción, es recomendable considerar no solo las variables propias de la explotación, como la producción, los costos y los precios de venta, sino también los principales factores del entorno económico. Variables como la inflación, la Tasa Representativa del Mercado (TRM), las tasas de interés, el Salario Mínimo Mensual Legal Vigente (SMMLV) y el crecimiento de la actividad económica pueden influir en los costos de operación, los ingresos esperados y la programación de las inversiones. Incorporar estas variables mediante escenarios y supuestos realistas permite anticipar posibles cambios en las condiciones del mercado, evaluar su efecto sobre la rentabilidad y fortalecer la toma de decisiones durante el planeamiento financiero.

9.3. Priorización de inversiones técnicas

La priorización de inversiones técnicas constituye una etapa fundamental del planeamiento minero, ya que permite orientar los recursos disponibles hacia aquellas alternativas que generan mayores beneficios técnicos, operacionales y financieros para la explotación.

En la pequeña minería de materiales de construcción, decisiones como renovar maquinaria, ampliar la capacidad de producción, mejorar los sistemas de cargue y transporte o construir nueva infraestructura deben evaluarse no solo desde el punto de vista técnico, sino también considerando su impacto sobre los costos de operación, la productividad, el flujo de caja y la rentabilidad del proyecto.



Para apoyar este proceso, es recomendable utilizar herramientas de evaluación financiera que permitan comparar diferentes alternativas de inversión y estimar su contribución al desempeño económico de la operación. Entre los indicadores más utilizados se encuentran el **Valor Presente Neto (VPN)**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR)**, el **Período de Recuperación de la Inversión (Payback)**, el **Punto de Equilibrio** y el **Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC)**.

Por ejemplo, antes de adquirir una nueva excavadora o ampliar una planta de trituración, resulta conveniente estimar el incremento esperado en la producción, la reducción de los costos operacionales y el efecto de la inversión sobre los ingresos futuros. El análisis conjunto de estos aspectos técnicos y financieros permite determinar si la inversión genera valor para la operación y contribuye a mejorar su competitividad.

Integrar la evaluación técnica con el análisis financiero facilita priorizar las inversiones que ofrecen mayores beneficios, optimizar la utilización de los recursos disponibles y reducir la incertidumbre frente a posibles cambios en las condiciones del mercado. De esta manera, las decisiones de inversión se sustentan en criterios objetivos que favorecen la sostenibilidad económica de la operación minera.

9.3.1. Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es uno de los principales indicadores utilizados para evaluar la viabilidad financiera de un proyecto de inversión. Su propósito es determinar si los beneficios económicos futuros, expresados mediante los flujos de caja esperados, son suficientes para recuperar la inversión inicial y generar una rentabilidad superior al costo del capital.

Para ello, el VPN descuenta los flujos de caja futuros a una tasa de descuento que representa el costo de capital de la operación o la rentabilidad mínima esperada por los inversionistas. De esta forma, incorpora el principio financiero del valor del dinero

en el tiempo, según el cual un peso disponible en el presente tiene un mayor valor que ese mismo peso recibido en el futuro.

En proyectos de explotación de materiales de construcción, el VPN puede utilizarse para evaluar inversiones como la adquisición de maquinaria de extracción y transporte, la modernización de plantas de trituración, la apertura de nuevos frentes de explotación o la ejecución de obras de infraestructura que permitan mejorar la productividad y reducir los costos operacionales.

El costo de capital corresponde al rendimiento mínimo que debe generar una inversión para compensar el costo de los recursos financieros utilizados. Cuando la inversión se financia mediante créditos, este costo está asociado principalmente a la tasa de interés del préstamo; cuando proviene de recursos propios, representa la rentabilidad mínima esperada por los propietarios o inversionistas.

En términos generales, el criterio de decisión del VPN es el siguiente:

- **VPN > 0:** La inversión genera valor y se considera financieramente viable.
- **VPN = 0:** La inversión recupera exactamente el costo del capital, sin generar valor adicional.
- **VPN < 0:** La inversión no recupera el costo del capital y, por tanto, no resulta financieramente conveniente.

9.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador financiero que permite estimar la rentabilidad esperada de una inversión y comparar diferentes alternativas dentro de una operación de materiales de construcción. Corresponde a la tasa de descuento que hace que el Valor Presente Neto (VPN) sea igual a cero. En términos generales, cuando la TIR es superior al costo de capital, la inversión genera una rentabilidad mayor que el costo de los recursos utilizados y puede considerarse financieramen-



te viable; cuando es inferior, se recomienda revisar su conveniencia antes de ejecutar la inversión.

En la minería de materiales de construcción, la TIR es útil para evaluar inversiones relacionadas con la adquisición de maquinaria, la apertura de nuevos frentes de explotación, la ampliación de la capacidad instalada o la implementación de mejoras orientadas a incrementar la productividad y reducir los costos operacionales. Este indicador permite comparar alternativas de inversión y seleccionar aquellas que ofrecen una mayor rentabilidad para la operación.

Los criterios generales para interpretar la TIR son los siguientes:

- **TIR > costo de capital:** La inversión genera una rentabilidad superior a la mínima requerida y puede considerarse financieramente viable.
- **TIR = costo de capital:** La inversión recupera el costo de los recursos utilizados, sin generar valor adicional.
- **TIR < costo de capital:** La rentabilidad esperada es inferior al costo de los recursos invertidos, por lo que la inversión no resulta financieramente conveniente.

9.3.3. Período de Recuperación de la Inversión (Payback)

El **Período de Recuperación de la Inversión (Payback)** indica el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja generados por el proyecto. Este indicador facilita la comparación entre diferentes alternativas de inversión y permite estimar el nivel de exposición al riesgo financiero durante los primeros años de operación. En la explotación de materiales de construcción, el Payback es especialmente útil para evaluar inversiones en maquinaria, equipos de cargue y transporte, infraestructura o mejoras orientadas a incrementar la continuidad de la producción. Un período de recuperación más corto permite disponer de recursos para nuevas inversiones y reduce la exposición frente a variaciones en los costos, los precios de venta o las condiciones del mercado.

El Payback Descontado constituye una versión más completa de este indicador, ya que incorpora el valor del dinero en el tiempo mediante el descuento de los flujos de caja futuros utilizando el costo de capital o una tasa de descuento definida para el proyecto. De esta manera, proporciona una estimación más realista del tiempo requerido para recuperar la inversión.

Aunque el Payback es una herramienta útil para evaluar la liquidez y el riesgo asociado a una inversión, su análisis debe complementarse con indicadores como el VPN y la TIR, ya que por sí solo no considera la rentabilidad total del proyecto.

9.3.4. Punto de equilibrio

El Punto de Equilibrio corresponde al nivel de producción y ventas en el cual los ingresos obtenidos por la comercialización de los materiales de construcción son iguales a los costos fijos y variables de la operación. En este punto la explotación no genera utilidades, pero tampoco registra pérdidas. Este indicador permite determinar el volumen mínimo de producción y venta, expresado en toneladas o metros cúbicos, necesario para cubrir los costos operacionales, administrativos y demás obligaciones asociadas al desarrollo de la actividad minera. Cuando la producción supera este nivel, la operación comienza a generar utilidades; cuando se encuentra por debajo, existe riesgo de pérdidas económicas.

En la minería de materiales de construcción, el punto de equilibrio constituye una herramienta de apoyo para la planificación de la producción, la programación de ventas y la evaluación del impacto que pueden generar variaciones en los precios de comercialización, los costos operacionales o los niveles de producción.

La **Figura 9-15** presenta la expresión utilizada para calcular el punto de equilibrio en una operación de materiales de construcción.



Figura 9-15

Fórmula del punto de equilibrio

$$\text{Punto de Equilibrio (Unidades)} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\text{Precio de Venta Unitario} - \text{Costo Variable U}}$$

El análisis periódico del punto de equilibrio permite establecer metas mínimas de producción, evaluar escenarios de operación y fortalecer la toma de decisiones financieras durante el planeamiento minero.

9.3.5. Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC)

El Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC) es un indicador que permite evaluar la eficiencia con la que una operación de materiales de construcción utiliza los recursos invertidos en maquinaria, infraestructura y demás activos productivos para generar utilidades.

Este indicador se calcula dividiendo la Utilidad Operativa Neta después de Impuestos (NOPAT) entre el capital invertido en la operación. El resultado refleja el rendimiento obtenido por cada peso invertido en el desarrollo de la actividad minera.

En proyectos de materiales de construcción, el ROIC constituye una herramienta útil para evaluar inversiones orientadas a ampliar la capacidad de producción, incorporar nueva maquinaria, optimizar los procesos de cargue y transporte o ejecutar mejoras que incrementen la productividad y reduzcan los costos operacionales.

El NOPAT representa la utilidad generada exclusivamente por la operación, una vez descontados los impuestos, sin considerar la forma de financiación del proyecto. Por ello, permite evaluar con mayor precisión el desempeño operativo y la eficiencia en el uso del capital invertido.

Como criterio general, el ROIC debe compararse con el costo de capital de la operación. Cuando el



ROIC es superior al costo de capital, la inversión genera valor para la empresa; cuando ambos son iguales, la inversión recupera el costo de los recursos utilizados; y cuando el ROIC es inferior, la rentabilidad obtenida no compensa el costo del capital invertido.

La **Figura 9-16** presenta un ejemplo de análisis financiero aplicado a un proyecto de explotación de materiales de construcción, en el que se integran los principales indicadores utilizados para evaluar la viabilidad económica de una inversión minera.



Figura 9-16

Análisis financiero de un proyecto minero de pequeña escala

ANÁLISIS FINANCIERO DE UN PROYECTO MINERO

RESUMEN Y CÁLCULO DE INDICADORES CLAVE



DATOS GENERALES

INVERSIÓN INICIAL:



\$80
Millones

VIDA ÚTIL



10
Años

TASA DE DESCUENTO:



10%

VPN

\$150
Millones

$$VPN = \sum \frac{\text{FLUJOS DE EFECTIVO}}{(1 + R)^t} - \text{INVERSIÓN INICIAL}$$

Donde:

t = Período de tiempo (año 1, año 2, año n)

n = Vida útil del proyecto

VPN \$150 MILLONES

El valor presente neto es el valor actual de los flujos de efectivo.

VPN = \$880 MILLONES - \$10%
VPN = \$230.000.000

TIR

31,8%

La TIR es la tasa de descuento que hace el VPN igual a cero. El proyecto es atractivo porque 31,8% es mayor que la tasa de descuento del 10%.

PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio es el nivel de producción en el que los ingresos y costos se igualan.

PAYBACK

41 Años



El Payback es el tiempo que tarda en recuperarse la inversión inicial; en este caso el proyecto toma 4,1 años en promedio en recuperar la inversión.

ROIC

38,75%

NOPAT / CAPEX
\$31 MILLONES - \$80 MILLONES

El ROIC mide la rentabilidad del capital invertido en el proyecto.

VPN \$150 MILLONES | TIR 31,8% | PAYBACK 4,1 AÑOS | ROIC 38,75%

EL PROYECTO ES RENTABLE Y RECUPERA LA INVERSIÓN EN TIEMPO ADECUADO.



Los resultados del ejemplo evidencian una operación financieramente viable. Con una inversión inicial de \$80 millones y una vida útil estimada de 10 años, el proyecto alcanza un Valor Presente Neto (VPN) de \$150 millones y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 31,8 %, valores superiores a la tasa de descuento del 10 % considerada para la evaluación. Estos resultados indican que la inversión no solo recupera el capital inicial, sino que también genera valor económico durante el horizonte del proyecto. Asimismo, el Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC) del 38,75 % refleja una utilización eficiente de los recursos destinados a la operación.

En relación con la recuperación de la inversión, el Período de Recuperación (Payback) de 4,1 años indica que el capital invertido se recupera antes de finalizar la mitad de la vida útil del proyecto. Por su parte, el Punto de Equilibrio, estimado en 90.000 toneladas métricas, representa el nivel mínimo de producción requerido para cubrir la totalidad de los costos fijos y variables de la ope-

ración. A partir de este volumen, la explotación comienza a generar utilidades.

En conjunto, este ejemplo muestra cómo la interpretación integrada del VPN, la TIR, el Payback, el Punto de Equilibrio y el ROIC proporciona una visión más completa del desempeño financiero de un proyecto. El análisis combinado de estos indicadores facilita la comparación de alternativas de inversión y fortalece la toma de decisiones durante el planeamiento de operaciones de materiales de construcción.

La evaluación financiera de un proyecto minero no debe sustentarse en un único indicador, sino en el análisis conjunto de diferentes herramientas que permitan valorar la rentabilidad, el riesgo, la recuperación de la inversión y la eficiencia en el uso de los recursos. La **Tabla 9-5** resume los principales indicadores financieros utilizados para apoyar la evaluación y priorización de inversiones en operaciones de materiales de construcción.

Tabla 9-5

Principales indicadores para la evaluación financiera de inversiones mineras

Indicador	¿Qué evalúa?	Criterio de decisión	Aplicación en minería de materiales de construcción
VPN	Valor económico generado por la inversión.	VPN > 0	Evaluar compra de maquinaria, ampliación de cantera o nuevas plantas.
TIR	Rentabilidad del proyecto.	TIR > costo de capital	Comparar alternativas de inversión.
Payback	Tiempo para recuperar la inversión.	Menor tiempo es preferible.	Analizar liquidez y riesgo.
Punto de equilibrio	Producción mínima para cubrir costos.	Producción real > punto de equilibrio	Definir metas de producción.
ROIC	Rentabilidad del capital invertido.	ROIC > costo de capital	Medir eficiencia del uso de los recursos.



9.3.6. Recomendaciones para la priorización de inversiones técnicas

En las operaciones de explotación de materiales de construcción, la priorización de inversiones técnicas consiste en asignar los recursos disponibles a aquellas acciones que generan un mayor impacto sobre la productividad, la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad de la explotación. Una adecuada priorización permite optimizar el uso del capital, reducir riesgos y fortalecer la rentabilidad de la operación.

Las decisiones de inversión deben estar articuladas con el planeamiento minero, la capacidad instalada, las condiciones del mercado y los objetivos de producción. En este sentido, no resulta recomendable incrementar la capacidad operativa si la demanda proyectada o las condiciones de comercialización no justifican dicha inversión o si los ingresos esperados no permiten recuperar oportunamente los recursos invertidos.

Se recomienda dar prioridad a las inversiones que contribuyan a disminuir el costo por tonelada o metro cúbico producido, mejorar la eficiencia de los procesos y reducir los tiempos improductivos. Entre estas se incluyen la adquisición de maquinaria con mayor rendimiento y menor consumo de combustible, la optimización de los sistemas de cargue y transporte, las adecuaciones en la planta de trituración y clasificación, así como las mejoras en la infraestructura interna de la operación.

De igual manera, es conveniente priorizar aquellas inversiones que favorezcan la continuidad operacional. En muchas explotaciones de pequeña escala, una interrupción prolongada ocasionada por fallas en los equipos puede generar pérdidas económicas significativas. Por esta razón, las inversiones en mantenimiento preventivo, disponibilidad de repuestos críticos, mejoramiento de vías internas y fortalecimiento de la infraestructura de apoyo suelen ofrecer beneficios superiores a aquellos derivados de una expansión prematura de la capacidad de producción.

Antes de ejecutar una inversión, es recomendable evaluar su impacto económico mediante herramientas de análisis financiero que permitan estimar los beneficios esperados, el tiempo de recuperación de la inversión y la rentabilidad del proyecto. Indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de Recuperación de la Inversión (Payback) y el Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC) constituyen instrumentos de apoyo para la comparación y priorización de alternativas de inversión.

Cuando la inversión requiera financiación mediante crédito, debe verificarse que la rentabilidad esperada supere el costo del financiamiento, de manera que la operación pueda atender sus obligaciones financieras sin comprometer su estabilidad económica.

Asimismo, es recomendable otorgar prioridad a las inversiones relacionadas con la seguridad minera, la gestión ambiental y el cumplimiento normativo. Acciones como la estabilización de taludes, el mejoramiento de los sistemas de drenaje, el control de emisiones de polvo, el mantenimiento de equipos y el fortalecimiento de las condiciones de seguridad contribuyen a reducir riesgos operacionales, prevenir contingencias y favorecer la continuidad de la explotación.

Como parte del proceso de evaluación, también es conveniente analizar diferentes escenarios que contemplen posibles variaciones en la demanda, los precios de venta, los costos de operación o el valor de los combustibles. Este ejercicio permite estimar la sensibilidad de la inversión frente a cambios en las condiciones del mercado y fortalecer el proceso de toma de decisiones.

La **Figura 9-17** resume los principales criterios para la priorización de inversiones técnicas en operaciones de materiales de construcción.



Figura 9-17

Recomendaciones para la priorización de inversiones técnicas

RECOMENDACIONES PARA LA PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES TÉCNICAS EN MINERÍA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Que la inversión esté alineada con el plan de minado y la demanda real.
Aumentar la producción no sirve si la demanda local no crece ni los precios mejoran.

Priorizar las inversiones que reduzcan el costo por metro cúbico o tonelada producida.
Equipos más eficientes, mejoras en planta y carga más rápida aumentan la rentabilidad.

Invertir en la continuidad operativa.
Prevenir daños prolongados en maquinaria y mejorar las vías internas reduce pérdidas.

Evaluar financieramente cada inversión.
Calcular si recuperará rápido la inversión en plazo efectivo y su impacto en el flujo de caja.

Priorizar inversiones en cumplimiento ambiental y seguridad.
Drenajes, control de polvo y estabilización de taludes evitan sanciones y riesgos.

La aplicación de estos criterios permite orientar las inversiones hacia aquellas alternativas que generen mayor valor para la operación, optimizan el uso de los recursos disponibles y fortalecen la productividad, la seguridad y la sostenibilidad de la explotación.

9.4. Recomendaciones Generales

La gestión financiera constituye un componente estratégico del planeamiento minero, ya que proporciona información para planificar las inversiones, controlar los costos, evaluar la rentabilidad y apoyar la toma de decisiones durante las diferentes etapas de la operación. En la minería de materiales de construcción, una adecuada administración de los recursos financieros contribuye a mejorar

la productividad, reducir los riesgos económicos y fortalecer la sostenibilidad de la explotación.

Para ello, es recomendable mantener registros actualizados de la producción, el consumo de insumos, los costos operacionales y los ingresos obtenidos por la comercialización de los materiales. Esta información facilita el cálculo del costo unitario de producción, el seguimiento del desempeño financiero y la identificación de oportunidades de mejora orientadas a incrementar la eficiencia de la operación.

Asimismo, es importante realizar un seguimiento periódico a indicadores financieros como el **Flujo de Caja**, el **Valor Presente Neto (VPN)**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR)**, el **Período de Recuperación de la Inversión (Payback)**, el **Punto de Equilibrio** y el **Retorno sobre el Capital Invertido**



(ROIC), con el fin de evaluar el comportamiento económico de la operación y respaldar la toma de decisiones sobre nuevas inversiones.

Las decisiones financieras también deben considerar la capacidad real de producción, las condiciones del mercado, la disponibilidad de recursos, las obligaciones ambientales y de seguridad, así como los riesgos asociados a variaciones en los costos de operación, los precios de comercialización o la demanda de materiales. Un análisis integral de estos factores favorece una planificación financiera más sólida y una asignación eficiente de los recursos. La **Figura 9-18** resume las principales recomendaciones para fortalecer la gestión financiera en operaciones de pequeña minería de materiales de construcción.

La implementación de estas recomendaciones contribuye a fortalecer la planificación financiera, optimizar el uso de los recursos disponibles y mejorar la capacidad de respuesta de la operación frente a las condiciones del mercado. Asimismo, favorece el cumplimiento de las obligaciones técnicas, ambientales y económicas, promueve una gestión más eficiente de los recursos y contribuye a la sostenibilidad de las operaciones de materiales de construcción en el largo plazo.

Figura 9-18

Recomendaciones generales para la gestión financiera en la pequeña minería de materiales de construcción

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA GESTIÓN FINANCIERA EN LA PEQUEÑA MINERÍA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



- Que la inversión esté alineada con el plan de minado y la demanda real. Aumentar la producción no sirve si la demanda local no crece ni los precios mejoran.
- Priorizar las inversiones que reduzcan el costo por metro cúbico o tonelada producida.**
Equipos más eficientes, mejoras en planta y carga más rápida aumentan la rentabilidad.
- Invertir en la continuidad operativa.
Prevenir daños prolongados en maquinaria y mejorar las vías internas reduce pérdidas.
- Evaluar financieramente cada inversión.**
Calcular si recuperará rápido la inversión en plazo efectivo y su impacto en el flujo de caja.
- Priorizar inversiones en cumplimiento ambiental y seguridad.**
Drenajes, control de polvo y estabilización de taludes evitan sanciones y riesgos.



10. GLOSARIO TÉCNICO

Afectación ambiental: Alteración positiva o negativa de los componentes del ambiente causada por la actividad minera.

Aguas de escorrentía: Agua que fluye sobre la superficie del terreno y puede arrastrar sedimentos o contaminantes provenientes de la actividad minera.

Aguas residuales domésticas: Aguas generadas por el uso cotidiano en viviendas, campamentos o instalaciones administrativas, provenientes principalmente de sanitarios, lavamanos, duchas y cocinas, que contienen materia orgánica y microorganismos..

Almacenamiento temporal de residuos: Lugar destinado al acopio controlado de residuos antes de su recolección, tratamiento o disposición final.

Aprovechamiento de residuos: Uso de residuos como insumo, materia prima o fuente de reciclaje para reducir su disposición final.



Aprovechamiento forestal: Actividad autorizada por la autoridad ambiental que consiste en la extracción, poda o intervención de árboles y vegetación, de manera temporal o permanente, con el fin de desarrollar un proyecto, garantizando medidas de manejo, compensación y restauración ambiental.

Área intervenida: Zona donde se realizan actividades de extracción, transporte, acopio o disposición de materiales asociados a la minería de materiales de construcción.

Área de influencia ambiental: Zona donde las actividades del proyecto pueden generar impactos sobre el agua, suelo, aire, flora y fauna.

Autoridad minera: Entidad estatal encargada de administrar, regular y fiscalizar la actividad minera. En Colombia, esta función es ejercida por la Agencia Nacional de Minería (ANM).

Botadero de estériles: Lugar destinado a la disposición controlada del material sin valor económico generado durante la extracción de materiales de construcción.

Buenas prácticas ambientales: Acciones preventivas y correctivas que reducen los impactos ambientales y promueven una minería responsable.

Buenas prácticas mineras: Conjunto de acciones técnicas, sociales, ambientales y laborales orientadas a desarrollar la actividad minera de manera responsable, segura, eficiente y sostenible, minimizando riesgos y fortaleciendo la relación con el territorio.

Calidad del aire: Estado del aire determinado por la presencia de material particulado, gases y polvo generados por la minería de materiales de construcción.

Cuerpo de agua: Fuente hídrica superficial o subterránea, como ríos, quebradas, nacimientos o acuíferos.

Cunetas perimetrales: Canales construidos alrededor de áreas intervenidas del proyecto minero, destinados a captar y conducir las aguas de escorrentía superficial, evitando su ingreso a frentes de explotación, botaderos o zonas operativas, y reduciendo procesos de erosión y sedimentación.

Caracterización social: Proceso mediante el cual se analiza y describe la situación social, económica, cultural y organizativa de las comunidades ubicadas en el área de influencia del proyecto minero.

Comunidad del área de influencia: Personas, familias u organizaciones que habitan o desarrollan actividades en el territorio donde se ejecuta el proyecto minero y que pueden verse afectadas o beneficiadas por este.



Comunicación y participación social: Conjunto de mecanismos que permiten informar, socializar, consultar y mantener un diálogo permanente entre el proyecto minero, las comunidades y las autoridades.

Concesión de aguas: Derecho otorgado por la autoridad ambiental que autoriza el uso y aprovechamiento de aguas superficiales o subterráneas, en una cantidad y período determinados, para el desarrollo de actividades productivas o domésticas.

Debida diligencia social: Proceso preventivo de identificación, evaluación y gestión de riesgos e impactos sociales asociados a la actividad minera, con el fin de evitar conflictos y afectaciones negativas.

Disposición de estériles: Manejo técnico del material extraído sin valor económico para evitar erosión, sedimentación y contaminación.

Disposición final: Proceso mediante el cual los residuos son depositados de forma segura en sitios autorizados, evitando riesgos ambientales y sanitarios.

Elementos de Protección Personal (EPP): Equipos diseñados para proteger a los trabajadores de riesgos laborales durante la ejecución de actividades mineras, tales como casco, botas de seguridad, guantes, gafas, protectores auditivos y respiratorios.

Emisiones atmosféricas: Liberación de gases y partículas al aire como resultado de la extracción, cargue, transporte y almacenamiento de los materiales de construcción.

Erosión del suelo: Pérdida de la capa superficial del suelo causada por la remoción de cobertura vegetal y movimiento de materiales.

Especies nativas: Especies de flora o fauna propias de una región o ecosistema determinado, que se han desarrollado de manera natural en el territorio y cumplen un papel fundamental en el equilibrio ecológico.

Estéril: Material rocoso o sedimentario que no contiene mineral aprovechable.

Formalización minera: Proceso mediante el cual una actividad minera que se desarrolla de manera informal se ajusta a la normatividad vigente, cumpliendo requisitos técnicos, ambientales, sociales y legales.

Flora y fauna: Conjunto de especies vegetales y animales presentes en el área del proyecto.



Gestión ambiental: Conjunto de acciones planificadas para prevenir, mitigar, corregir y compensar impactos ambientales generados por la minería de materiales de construcción.

Gestión integral de residuos: Conjunto de actividades orientadas a la reducción, separación, almacenamiento, transporte, aprovechamiento y disposición final de los residuos.

Gestión integral del recurso hídrico: Proceso de planificación, uso, conservación y protección del agua que considera de manera conjunta los aspectos ambientales, sociales y productivos, con el fin de garantizar su disponibilidad, calidad y sostenibilidad en el territorio.

Grupos de interés: Personas, comunidades, organizaciones o instituciones que pueden verse afectadas, beneficiadas o tener influencia sobre el proyecto minero, incluyendo comunidades locales, trabajadores, autoridades y actores económicos.

Humectación: Aplicación de agua sobre vías, frentes y acopios para controlar la generación de polvo.

Huella ambiental: Impacto total que genera un proyecto sobre los recursos naturales durante su ejecución.

Inclusión social: Principio que busca garantizar la participación equitativa de todos los grupos poblacionales, especialmente aquellos en situación de vulnerabilidad, en los beneficios y procesos asociados al proyecto minero.

Indicadores de seguimiento: Herramientas cuantitativas o cualitativas utilizadas para medir el avance, cumplimiento y efectividad de las actividades del Plan de Gestión Social.

Impacto ambiental: Cambio en el ambiente causado directa o indirectamente por una actividad minera.

Líneas estratégicas: Ejes temáticos que organizan las acciones del Plan de Gestión Social, de acuerdo con las necesidades identificadas en el territorio y los impactos del proyecto minero.

Material particulado: Pequeñas partículas sólidas suspendidas en el aire, generadas principalmente por el manejo de los materiales de construcción y tránsito vehicular.

Medidas de manejo ambiental: Acciones técnicas diseñadas para controlar y reducir impactos negativos sobre el ambiente.



Monitoreo ambiental: Seguimiento periódico de variables ambientales para evaluar el comportamiento de los impactos del proyecto.

Permiso de emisiones atmosféricas: Autorización otorgada por la autoridad ambiental competente que permite la liberación controlada de contaminantes al aire, producto de fuentes fijas o móviles del proyecto, siempre que se cumplan los límites y condiciones establecidos en la normatividad ambiental vigente.

Permiso de vertimientos: Autorización emitida por la autoridad ambiental para la descarga de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua superficial, al suelo o al sistema de alcantarillado, bajo condiciones técnicas que garanticen la protección del recurso hídrico.

Permiso para concesión de aguas: Acto administrativo mediante el cual la autoridad ambiental evalúa y aprueba la solicitud presentada por el interesado para el uso del recurso hídrico, estableciendo condiciones técnicas, obligaciones y medidas de manejo ambiental.

Plan de Gestión Social (PGS): Instrumento de planeación exigido por la Agencia Nacional de Minería que establece las acciones, estrategias y mecanismos para gestionar los impactos sociales del proyecto minero, promover beneficios comunitarios y fortalecer la relación con el territorio.

Planeamiento minero: Proceso de organización y programación de las actividades mineras que integra aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos, orientado a una explotación eficiente y responsable.

Plan de Manejo Ambiental (PMA): Instrumento que establece las medidas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales.

Plan de cierre y abandono: Conjunto de acciones orientadas a la recuperación ambiental del área una vez finaliza la actividad minera.

Polvo fugitivo: Material particulado que se dispersa sin control en el aire durante las operaciones mineras.

Pozo séptico: Sistema de tratamiento primario de aguas residuales domésticas, generalmente subterráneo, que permite la sedimentación de sólidos y la digestión parcial de la materia orgánica antes de su infiltración controlada o disposición final.

Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA): Instrumento de gestión ambiental que establece acciones, metas y medidas orientadas a optimizar el consumo de agua, reducir pérdidas y promover el aprovechamiento responsable del recurso hídrico en el desarrollo de un proyecto.



Punto ecológico: Área debidamente señalizada y acondicionada dentro del proyecto minero, destinada a la separación en la fuente, almacenamiento temporal y correcta gestión de los residuos sólidos, de acuerdo con su clasificación (ordinarios, reciclables y peligrosos), con el fin de prevenir la contaminación del suelo, agua y aire.

Reforestación: Proceso de siembra de especies vegetales para recuperar áreas intervenidas por la minería.

Reusó de aguas: Práctica mediante la cual las aguas residuales tratadas o aguas de escorrentía son aprovechadas nuevamente en actividades del proyecto, como humectación de vías o procesos operativos, reduciendo el consumo de agua fresca.

Rehabilitación ambiental: Acciones para restablecer parcialmente las condiciones naturales del área intervenida.

Restauración ambiental: Proceso de recuperación integral de los ecosistemas afectados por la actividad minera.

Residuo: Material, sustancia u objeto que se genera como resultado de una actividad y que no tiene valor de uso inmediato.

Residuo ordinario: Residuo no peligroso generado en actividades cotidianas, como restos de alimentos, papel, cartón y plásticos comunes.

Residuo reciclable: Residuo que puede ser aprovechado mediante procesos de reciclaje, como papel, cartón, vidrio, plástico y metales.

Residuo peligroso (RESPEL): Residuo que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o infecciosas representa riesgo para la salud y el ambiente.

Residuo especial: Residuo que, sin ser peligroso, requiere un manejo diferenciado por su volumen o características, como llantas, aceites usados y filtros.

Residuos de Construcción y Demolición (RCD): Materiales generados en obras civiles, adecuaciones y mantenimiento de infraestructura.

Sedimentación: Acumulación de partículas de suelo o roca en cuerpos de agua debido a procesos de arrastre.

Seguridad y Salud en el Trabajo (SST): Conjunto de políticas, normas y acciones orientadas a prevenir accidentes laborales, enfermedades profesionales y promover condiciones seguras y saludables para los trabajadores.

Separación en la fuente: Clasificación de los residuos desde el lugar donde se generan, de acuerdo con su tipo y manejo.



Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas: Infraestructura destinada a la recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales generadas por actividades domésticas, tales como servicios sanitarios, duchas y cocinas, garantizando la protección del suelo, las fuentes hídricas y la salud pública.

Sistema de tratamiento de aguas residuales mineras: Conjunto de obras, equipos y procesos físicos, químicos o biológicos diseñados para tratar las aguas afectadas por las actividades mineras, con el fin de remover contaminantes, reducir su carga contaminante y permitir su disposición o reutilización de acuerdo con la normatividad ambiental vigente.

Socialización del proyecto: Proceso mediante el cual se informa a las comunidades y autoridades sobre las características, fases y alcances del proyecto minero, promoviendo la transparencia y el diálogo.

Suelo minero: Capa superficial del terreno intervenida por la extracción de materiales de construcción, susceptible a degradación.

Título minero: Derecho otorgado por el Estado que autoriza a una persona natural o jurídica a explorar y explotar un recurso mineral en un área determinada, bajo condiciones legales específicas.

Tratamiento de residuos: Procesos físicos, químicos o biológicos aplicados a los residuos para reducir su peligrosidad o volumen.

Transporte de residuos: Traslado de residuos desde el sitio de generación hasta el lugar de tratamiento o disposición final, realizado por gestores autorizados.

Valorización de residuos: Proceso mediante el cual los residuos se convierten en recursos útiles, reduciendo la cantidad destinada a disposición final.

Vías internas mineras: Caminos utilizados para el tránsito de vehículos y maquinaria dentro del área del proyecto, los cuales deben contar con señalización, límites de velocidad y normas de seguridad.

Vertimiento: Descarga controlada de aguas residuales mineras a un cuerpo receptor, conforme a la normatividad ambiental.

Zanjas de coronación: Canales ubicados en la parte superior de frentes de explotación o áreas intervenidas, diseñados para interceptar y desviar las aguas lluvias provenientes de zonas altas, previniendo la inestabilidad de taludes, la erosión del suelo y el arrastre de sedimentos hacia el área minera.



11. SIGLAS Y ABREVIATURAS

PMA: Plan de Manejo Ambiental

PGS: Plan de gestión social

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

PUEAA: Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua

SGA: Sistema de Gestión Ambiental

CAR: Corporación Autónoma Regional

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

ANM: Agencia Nacional de Minería

SST: Seguridad y Salud en el Trabajo

PGIRS: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos

RESPEL: Residuos Peligrosos

LAT: Licencia Ambiental Temporal

ZODME: Zona de Manejo de escombros y materiales de excavación

MADS: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia

DAM: Drenaje acido de mina

FUN: Formulario único nacional de licencia ambiental



12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Nacional de Minería. (2020). *Guía de buenas prácticas mineras para la pequeña minería y procesos de formalización*. ANM.

Agencia Nacional de Minería. (2021). *Resolución 263 del 25 de mayo de 2021, por la cual se establecen los lineamientos para la formulación, presentación, implementación y seguimiento del Plan de Gestión Social en proyectos mineros*. ANM.

Agencia Nacional de Minería. (2021). *Términos de referencia para la elaboración de planes y proyectos de gestión social*. ANM.

Altimira, J. (2024, 10 de junio). ¿Qué es CAPEX y OPEX? Upbizer. <https://www.upbizer.com/capex-y-opex/>
Andrade, G. I., & Rudas, G. (2009). *Biodiversidad y minería en Colombia: Una aproximación a sus impactos*. Universidad Nacional de Colombia.

Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.



Compañía Minera Poderosa S.A. (2024). Estados financieros separados al 31 de diciembre de 2023 y 2022. <https://www.poderosa.com.pe/Content/descargas/memorias/estados-financieros-2023.pdf>

Congreso de la República de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental. Diario Oficial No. 41.146.

Congreso de la República de Colombia. (2001). Ley 685 de 2001, Código de Minas. Diario Oficial No. 44.545.

García, O. L. (2024). Flujo de caja y proyecciones financieras con análisis de riesgo (3.ª ed.). Universidad Externado de Colombia.

García-Marmolejo, G. (Año). Fragmentación del paisaje y pérdida de biodiversidad en ecosistemas tropicales. (Completar datos bibliográficos de la publicación utilizada).

Gómez, F., et al. (2024). Impact of artisanal gold mining in community conserved areas with high biodiversity. (Completar revista científica correspondiente).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad. Instituto Humboldt.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (IGAC). (2023). Geoportal IGAC. <https://www.igac.gov.co/>
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía para la gestión integral de residuos sólidos. MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala. MADS.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. MAVDT.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Decreto 1886 de 2015, Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas. Diario Oficial.

Ministerio de Minas y Energía. (2022). Sistema Integral de Gestión Minera – ANNA Minería. <https://anna-mineria.anm.gov.co/>

Ministerio del Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Diario Oficial.



Ministerio del Trabajo. (2019). Resolución 0312 de 2019, por la cual se definen los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Diario Oficial.

Organización Internacional del Trabajo. (2019). Seguridad y salud en las minas. OIT.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). Minería y desarrollo sostenible: Buenas prácticas sociales y ambientales. PNUD.

Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jordan, B. D. (2022). Fundamentals of corporate finance (14th ed.). McGraw-Hill Education.

Servicio Geológico Colombiano. (2023). Geoportal Geocientífico Colombiano. <https://www2.sgc.gov.co/>

Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). Lineamientos para una minería responsable. UPME.

Unidad de Planeación Minero Energética. (2023). Guía para la evaluación económica de proyectos mineros. UPME



13. ANEXOS

ANEXO CAPITULO 5. Listas de chequeo y/o verificación

ANEXOS CAPITULO 8. Gestión ambiental

ANEXO 8.1. Listas Verificación Planeamiento Ambiental Proyecto Minero

ANEXO 8.2. Paso a paso planteado en la identificación de impactos ambientales.

ANEXO 8.3. Requerimientos ambientales en los diferentes instrumentos técnicos mineros.



ANEXO CAPITULO 5. Diseño de mina

Los anexos reúnen las listas de chequeo y verificación que respaldan la aplicación práctica de la guía técnica. Su propósito es ofrecer instrumentos claros, estandarizados y de uso inmediato en campo, permitiendo evaluar de manera objetiva los componentes operativos, geométricos y de seguridad de la unidad minera. Estos formatos fortalecen la trazabilidad, facilitan la identificación de hallazgos y apoyan la toma de decisiones técnicas, asegurando que la implementación de la guía se realice con rigor, coherencia y control verificable.

5.1. Diseño de mina

PRINCIPIOS DEL DISEÑO MINERO PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿Se cuenta con un modelo geológico que describa la geometría del yacimiento, Bancos explotables y estructuras principales?			
¿Se tiene seleccionado los métodos(s) o métodos de explotación que se pueden implementar en la mina (Bancos escalonados, canteras, pozos)?			
¿Se usan explosivos para el arranque del mineral?, se tiene autorización, ¿tienen personal certificado?			
¿Se tiene un estudio geotécnico que permita hacer un diseño de los taludes, bancos y bermas seguros?			
¿El diseño minero define de manera clara la configuración del tajo o terrazas, incorpora accesos seguros y operativos para maquinaria y personal? ¿Delimita adecuadamente las zonas de cargue, acopio y apoyo?			
¿Los parámetros geométricos del tajo (alturas de banco, ángulos de talud, bermas y rampas) son coherentes con la maquinaria disponible? ¿Cumplen criterios de estabilidad y tránsito seguro, se ajustan a las condiciones del terreno y están documentados y verificados en campo?			
¿Las actividades operativas (preparación, arranque, cargue, transporte y manejo de materiales) se ejecutan según una secuencia definida, bajo criterios de seguridad y eficiencia, con personal capacitado, equipos en buen estado y registros que aseguren trazabilidad y control?			
¿Los ciclos de cargue y transporte de la mina permite la evacuación del mineral y el estéril generado, cumpliendo con los planes de producción establecidos?			
¿La maquinaria y equipo utilizado tiene un plan de mantenimiento correctivo y/o preventivo?			
¿La mina(s) cuentan con un sistema de desagüe adecuado según el caudal de agua generado?			
¿La mina cuenta con un sistema de canales perimetrales para el control del agua superficial?			
¿La mina tiene la infraestructura suficiente y adecuada para su operación (Tolvas, subestación eléctrica, vías de acceso, zona para el diseño de botaderos entre otros)?			
¿Se tiene planta de beneficio que permita cumplir con los requerimientos del mercado (granulometría, control de calidad)?			
¿La mina cuenta con el personal administrativo, técnico y operacional necesario para la operación?			



5.2. Servicios y energía

SERVICIOS Y ENERGÍA			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿Existe suministro continuo de combustibles y energía?			
¿Las instalaciones eléctricas cumplen condiciones seguras?			
¿Los talleres y áreas de mantenimiento están operativos?			
¿Se garantiza disponibilidad de equipos críticos?			
¿Se minimizan tiempos improductivos mediante mantenimiento preventivo?			
¿Las comunicaciones internas funcionan adecuadamente?			

5.3. Control de aguas y drenajes

CONTROL DE AGUAS Y DRENAJES			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿Se tienen identificados quebradas, drenajes, zonas encharcadas que intervienen en la zona de explotación?			
¿Se tienen un plano de ubicación de efluentes de agua (nacimientos, granjas agrícolas)?			
¿Se tienen registros de historial de inundaciones tanto en el área de explotación como en las circundantes?			
¿El talud de la explotación presenta encharcamientos en su base, y/o salidas de agua en las paredes del tajo?			
¿La explotación se encuentra por debajo del nivel freático?			
AGUAS SUPERFICIALES O DE ESCORRENTÍA			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿Se tienen canales perimetrales, en la parte alta del tajo para desviar el agua de escorrentía que llega desde las laderas?			
¿Las labores de desarrollo, como rampas y vías tienen cunetas que conducen el agua a sumideros o pozos de sedimentación?			
¿Se hacen controles como por ejemplo impermeabilización de canales para evitar infiltraciones que generen aguas ácidas?			
¿Se tiene un programa de limpieza de cunetas y canales y se cumple?			
¿Se tienen disipadores de velocidad del agua (escalas, gaviones pozas) en tramos de alta pendiente?			
¿Se tiene un plano del sistema de control de aguas de escorrentía?			
AGUAS SUBTERRÁNEAS Y DESAGÜE MINERO			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿El fondo del tajo está diseñado con una pendiente tal que el agua llega a los sumideros por gravedad?			
¿Las áreas de circulación de maquinaria están diseñadas con una pendiente que facilite la conducción del agua a los sumideros, y así evitar un encharcamiento?			
¿Se tienen planos del sistema de conducción interna del agua subterránea, ubicando cunetas y puntos de bombeo?			
¿Se tiene un programa de mantenimiento de cunetas y pozos de bombeo y se cumple efectivamente?			



5.4. Beneficio del mineral

BENEFICIO DEL MINERAL			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿Se tiene un procedimiento para controlar la calidad del mineral (Contaminación de estériles, dilución)? ¿o alteraciones mineralógicas?			
¿La trituración del mineral cumple con las especificaciones granulométricas exigidas?			
¿Se hace un control adecuado en la trituradora para evitar la generación excesiva de finos?			
¿Las mallas de las cribas cumplen con los diámetros adecuados en base a las especificaciones establecidas?			
¿Los finos generados están depositados en áreas confinadas y se aprovechan de alguna forma?			
¿La ubicación de la planta de beneficio es cercana a mina, y tiene sistemas de control para el manejo de aguas, emanación de material particulado y ruido?			
¿Los equipos de cargue y transporte del mineral beneficiado son eficientes y con alta disponibilidad de servicio?			

5.5. Diseño de botaderos de estériles

DISEÑO DE BOTADEROS DE ESTÉRILES			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿Se tiene un lugar para disponer del estéril?			
¿Se tienen planos topográficos de la zona y estudios geotécnicos?			
¿Se tienen proyectado los volúmenes de estériles que se pueden generar durante la vida útil del proyecto?			
¿Se tiene el estudio de capacidad portante y de asentamiento del botadero?			
¿Se tiene un diseño del botadero con la inclinación de los taludes, factor de seguridad y control de aguas?			
¿Se tiene un plan de trabajo para la recuperación paisajística del botadero?			

5.6. Seguridad e higiene minera

SEGURIDAD E HIGIENE MINERA			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿El personal utiliza los EPP obligatorios?			
¿Existe señalización visible en áreas críticas?			
¿Se realizan inspecciones periódicas de frentes y equipos?			
¿Se controlan riesgos de derrumbes, inundaciones y maquinaria?			
¿Los procedimientos de emergencia están definidos y conocidos?			
¿Se registran incidentes y acciones correctivas?			



5.7. Producción y cronograma

PRODUCCIÓN Y CRONOGRAMA			
ACTIVIDAD	CUMPLIMIENTO		
	SI	NO	NA
¿Las metas de producción son coherentes con la capacidad operativa?			
¿Se registran avances diarios o semanales?			
¿Se ajusta el cronograma cuando cambian las condiciones del terreno o equipos?			
¿La producción es trazable y verificable?			
¿El cronograma está alineado con el Plan Minero?			



ANEXO CAPITULO 8. Gestión ambiental

8.1 Listas Verificación Planeamiento Ambiental Proyecto Minero

1. Planteamiento de la gestión residuos sólidos

1.1. Identificación y caracterización

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se identificaron los residuos que se generarán en las diferentes etapas del proyecto?					
¿Se clasificaron los residuos en ordinarios, aprovechables, peligrosos y especiales?					
¿Se estimó la cantidad aproximada de residuos a generar?					
¿Se identificaron residuos con potencial de contaminar el suelo o el agua?					

1.2. Planeamiento de la infraestructura

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron áreas para el almacenamiento temporal de residuos?					
¿Las áreas fueron ubicadas fuera de rondas hídricas y zonas ambientalmente sensibles?					



¿Se contemplaron superficies impermeables para residuos peligrosos?					
¿Se incorporaron medidas para contener derrames y lixiviados?					

1.3. Gestión y aprovechamiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron procedimientos para la separación en la fuente?					
¿Se identificaron gestores autorizados para residuos peligrosos?					
¿Se planificó el aprovechamiento de residuos reciclables?					

1.4. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron indicadores, registros y responsables para la gestión de residuos?					
¿Se estableció la frecuencia de inspección y acciones de mejora?					



2. Planteamiento del recurso hídrico

2.1. Caracterización del área

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se identificaron las fuentes hídricas superficiales presentes en el área?					
¿Se identificaron nacimientos, acuíferos o zonas de recarga hídrica?					
¿Se identificaron materiales potencialmente generadores de drenaje ácido de mina (DAM)?					
¿Se evaluó el comportamiento hidrológico y las zonas inundables?					

2.2. Planeamiento y diseño

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definió un sistema de manejo de aguas limpias y aguas de contacto?					
¿Se incorporaron estructuras para el control de sedimentos?					
¿Se definieron medidas para prevenir la generación de drenaje ácido?					
¿Se incorporó la recirculación del agua cuando es					



2.3. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron puntos y parámetros para el monitoreo de la calidad del agua?					
¿Se estableció la frecuencia de seguimiento?					

3. Planteamiento de emisiones atmosféricas

3.1. Caracterización

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se identificaron las principales fuentes potenciales de emisión de material particulado y gases?					
¿Se evaluó la dirección predominante del viento?					
¿Se identificaron receptores sensibles cercanos?					

MATERIALES DE CONSTRUCCION (CANTERA)

3.2. Planeamiento y diseño

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron medidas para el control de polvo?					
¿Se evaluó la ubicación de acopios y vías internas para reducir emisiones?					



¿Se incorporó un programa de mantenimiento preventivo de maquinaria?					
--	--	--	--	--	--

3.3. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron inspecciones periódicas e indicadores de seguimiento de emisiones?					

4. Planteamiento de biodiversidad y ecosistemas

4.1. Caracterización

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se identificaron ecosistemas estratégicos, coberturas vegetales y áreas ambientalmente sensibles?					
¿Se identificaron especies de flora y fauna de importancia ecológica?					
¿Se delimitaron rondas hídricas y áreas de exclusión?					

215

4.2. Planeamiento y diseño

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se minimizaron las áreas a intervenir?					



¿Se definieron medidas para la protección de flora y fauna?					
¿Se planificó la restauración progresiva con especies nativas?					

3.3. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron indicadores para evaluar la restauración y el estado de la biodiversidad?					

5. Planteamiento de emisiones atmosféricas

5.1. Localización y diseño

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se evaluaron alternativas de ubicación de la planta de beneficio?					
¿La localización evita áreas ambientalmente sensibles y zonas de riesgo?					
¿Se diseñó el sistema de drenaje y manejo de aguas?					

5.2. Medidas ambientales

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se planificó el control de polvo y el manejo de residuos del beneficio?					



¿Se definieron áreas para almacenamiento temporal de materiales?					
--	--	--	--	--	--

5.3. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se establecieron procedimientos e inspecciones periódicas para verificar el funcionamiento del beneficio?					



8.2. Listas Verificación Planeamiento Ambiental Proyecto Minero

No.	Paso	Descripción	Herramientas / Técnicas	Producto	Responsable / Observaciones
1	Definición del proyecto y límites	Delimitar actividades, fases, infraestructura y área de influencia (directa e indirecta).	Revisión documental, planos, visitas de campo.	Ficha del proyecto y mapa de AAI (área de influencia).	Equipo técnico / Inicio del EIA
2	Inventario ambiental	Recolección de datos abióticos, bióticos y socioeconómicos.	Muestreos, inventarios, SIG, entrevistas, fuentes secundarias.	Inventario temático (suelo, agua, biodiversidad, comunidades).	Equipo multidisciplinario
3	Identificación de acciones y factores	Listar acciones del proyecto (causas) y factores ambientales (efectos).	Listas de chequeo, diagramas de flujo.	Listado de actividades y factores críticos.	Técnico ambiental
4	Matriz de interacción (identificación)	Cruzar actividades vs factores para identificar impactos potenciales.	Matriz causa-efecto (Conesa).	Matriz de identificación (impactos preliminares).	Equipo técnico
5	Caracterización de impactos (predicción)	Describir cómo cambiará cada factor (magnitud, extensión, duración, probabilidad).	Modelos sencillos, experiencia comparada, SIG.	Fichas de predicción por impacto.	Especialistas (hidrología, ecología, socioecon.)
6	Evaluación y valoración	Valorar importancia (significancia) integrando criterios (magnitud, extensión, reversibilidad, probabilidad).	Escalas semicuantitativas, índice de significancia.	Tabla de valoración y ranking de impactos.	Equipo técnico con jefatura
7	Identificación de impactos acumulativos/sinérgicos	Analizar interacción entre impactos y con otros proyectos/actividades.	Matrices de interacción entre impactos, análisis territorial.	Informe de impactos acumulativos y escenarios.	Equipo estratégico
8	Propuesta de medidas preventivas/mitigación	Definir medidas evitación, minimización, restauración y compensación.	Buenas prácticas, planes de manejo, ajustes de diseño.	Plan de Manejo Ambiental (PMA) con medidas por impacto.	Equipo PMA
9	Evaluación residual y monitoreo	Determinar impacto residual tras medidas; definir indicadores y plan de seguimiento.	Indicadores (biológicos, físicos, sociales), protocolos de monitoreo.	Programa de monitoreo y reporte.	Responsable PMA
10	Participación y revisión	Socializar resultados, incorporar aportes, revisión final.	Talleres, actas, incorporación de medidas.	Documento final, anexos, matriz actualizada.	Coordinador y stakeholders

8.3. Requerimientos ambientales en los diferentes instrumentos técnicos mineros

REQUERIMIENTOS AMBIENTALES EN LOS DIFERENTES INSTRUMENTOS TÉCNICOS MINEROS			
TDR INSTRUMENTOS TÉCNICOS MINEROS	ASPECTO	REQUISITOS AMBIENTALES SOLICITADOS POR LA AUTORIDAD MINERA	OBSERVACIÓN DE COHERENCIA MINERO-AMBIENTAL
TDR trabajo de exploración, programa mínimo exploratorio y PTO. Resolución 143 de 2017, modificada por la Resolución 299 de 2018	Exploración / PME / PTO	Para trabajos de exploración “no se exigen estudios de impacto ambiental”; sin embargo, el interesado “deberá... señalar y ajustar los Trabajos de Exploración técnica... a los manejos ambientales que las Guías Ambientales establece para cada actividad” y, si la exploración “requiera usar o aprovechar recursos naturales renovables, deberá obtener el permiso, la concesión o la autorización ambiental de la autoridad competente”. Además, las Guías Minero-Ambientales son “instrumento obligatorio de consulta y orientación” y deben “plasmarse” los manejos para cada actividad exploratoria.	Desde exploración, el instrumento minero exige que el proyecto ya incorpore manejo ambiental y permisos cuando aplique.
	Formato A / Programa mínimo exploratorio	El titular “deberá implementar las medidas de manejo que se requieran, para cada una de ellas debe señalar cuáles medidas de manejo ambiental va a desarrollar y estimar los costos para dicha actividad”, y ese señalamiento debe estar acorde con el Formato A y las Guías Minero Ambientales vigentes. El formato incluye de manera expresa “Aspectos Ambientales Etapa de Exploración”, entre ellos: “Selección óptima de Sitios de Campamentos y Helipuertos, Manejo de Aguas Lluvias, Manejo de Aguas Residuales Domésticas, Manejo de Cuerpos de Agua, Manejo de Material Particulado y Gases, Manejo del Ruido, Manejo de Combustibles, Manejo de Taludes, Manejo de Accesos, Manejo de Residuos Sólidos, Adecuación y Recuperación de Sitios de Uso Temporal, Manejo de Fauna y Flora, Plan de Gestión Social, Capacitación de Personal, Contratación de Mano de Obra no Calificada, Rescate Arqueológico, Manejo de Hundimientos”.	El TDR no solo pide “considerar” lo ambiental: exige identificar medidas, costos e ítems concretos de manejo en exploración.
	PTO	El PTO debe incluir “Plan de Obras de Recuperación geomorfológica, paisajística y forestal del sistema alterado” y “Plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes y de la infraestructura”. También indica que “Simultáneamente con el Programa de Trabajos y Obras deberá presentarse el estudio que demuestre la factibilidad ambiental de dicho programa” y que “sin la aprobación expresa de este estudio y la expedición de la Licencia Ambiental correspondiente no habrá lugar a la iniciación de los trabajos y obras de explotación minera”.	La aprobación minera del PTO queda ligada a la factibilidad ambiental y a la licencia.



	EIA / Licencia / cierre	"No podrán iniciarse los trabajos y obras de explotación minera sin la aprobación expresa del Estudio de Impacto Ambiental y la expedición de la Licencia Ambiental". El EIA debe contener: "los impactos... con su correspondiente evaluación; los planes de prevención, mitigación, corrección y compensación...; las medidas específicas que se aplicarán para el abandono y cierre de los frentes de trabajo y su plan de manejo; las inversiones necesarias y los sistemas de seguimiento". Además, "En todos los casos de terminación del título, el beneficiario estará obligado a hacer las obras y poner en práctica todas las medidas ambientales necesarias para el cierre o abandono".	El instrumento minero remite de manera expresa al contenido del instrumento ambiental y al cierre.
	Reglas generales del proyecto	"Para todas las obras y trabajos de minería... se incluirán... la gestión ambiental y sus costos". "No podrán ejecutarse trabajos y obras... en zonas... de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables o del ambiente". Si se incorporan otros minerales y los impactos son diferentes, se debe pedir "la correspondiente ampliación o modificación de la Licencia Ambiental".	El alcance minero debe coincidir con el alcance y restricciones del instrumento ambiental.
Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD). Resolución 10 de 2024	PTOD	En la descripción del proyecto se deben reportar "las restricciones y condiciones ambientales, sociales o de otra índole" e "informar si el proyecto minero cuenta con Licencia Ambiental Temporal o indicar el estado del trámite".	El PTOD obliga a declarar la condición ambiental del proyecto desde el inicio del documento técnico.
	Topografía / línea base física	La topografía regional debe "Identificar cuerpos de agua y aspectos fisiográficos relevantes"; la topografía local sirve para "el cálculo de volumen de material a remover (en explotación o en recuperación)". Además, deben referenciarse "drenajes, cuerpos de agua", "quebradas", "botaderos de estéril o escombreras", etc.	La línea base del PTOD incorpora variables físicas que luego se conectan con manejo ambiental, drenajes y recuperación.
	Hidrología / dinámica fluvial / restricciones ambientales	El documento exige análisis de "Precipitaciones y caudales". Para materiales de arrastre o depósitos de placer, el diseño minero debe considerar "morfología del río, zonas de agradación, régimen de precipitaciones, régimen de caudales y restricciones ambientales".	Aquí la coherencia con el instrumento ambiental se da sobre todo en agua, cauce y restricciones del área.
	Manejo y control de aguas	"Deberá indicar el manejo de las aguas subterráneas y superficiales, rutas de evacuación, estaciones de bombeo, canales perimetrales, plantas de tratamiento, reservorios, y demás sistemas de control de aguas". También pide diseño, cálculos y "plano de manejo de aguas".	El diseño minero debe quedar alineado con el manejo hídrico del proyecto.
	Manejo y disposición de estériles / suelo orgánico	"De requerirse áreas para disponer suelo orgánico, se debe presentar la descripción, la localización, el diseño y el cálculo de los volúmenes mensuales de suelo a depositar". Para estériles, se debe presentar "descripción, localización, diseño, capacidad y vida útil del botadero", con soporte en geomorfología, hidrología y estudio geotécnico.	El PTOD pide que los componentes típicamente ambientales queden definidos dentro del diseño minero.
	Plan de cierre	El plan de cierre debe enfocarse hacia "la recuperación de la estabilidad física, estabilidad química, la recuperación del uso del territorio... y la protección del medio ambiente". Se deben describir "las actividades e impactos generados" y presentar un plan que contemple "actividades específicas de cierre, recuperación, restauración y rehabilitación del sistema alterado, asociando los costos". Además, "debe presentarse de acuerdo a lo estipulado en las Guías Minero-Ambientales".	El PTOD articula de forma expresa cierre minero, recuperación del sistema alterado y guías minero-ambientales.
Plan de Trabajos y Obras Complementario (PTOC). Resolución 414 de 2014	PTOC	El PTOC "debe suministrar la base técnica, logística, económica y comercial, en concordancia con el medio ambiente" y "debe ser adaptado... a la producción y demás especificaciones técnicas y ambientales de cada proyecto minero".	El PTOD en algunos capítulos, impone concordancia expresa con el componente ambiental.
	Topografía / componentes del área	En el mapa topográfico deben referenciarse "quebradas" y "botaderos de estéril, patios de acopio". Para cielo abierto también pide "botaderos de superficie y retrolleados, canales y diques de protección de avenidas".	El PTOC incorpora varios componentes físicos y de control que luego deben corresponder con el PMA.
	Plan de cierre y abandono	El documento es muy expreso: el subcontratista/concesionario debe presentar el "plan de obras de cierre de la explotación y abandono de los montajes y de la infraestructura, con el cronograma y presupuesto proyectado". Ese plan "deberá ser elaborado e incorporado al proyecto minero desde las fases de desarrollo y explotación minera y deberán ejecutarse de manera consecutiva con el plan de manejo ambiental aprobado". Además, "debe considerar estabilización geomorfológica, geotécnica, hídrica, paisajística, biótica y socioeconómica" e incluye el "PLAN DE OBRAS DE RECUPERACIÓN GEOMORFOLÓGICA, PAISAJÍSTICA Y FORESTAL DEL SISTEMA ALTERADO".	Este TRD exige ejecución del cierre en coherencia con el PMA aprobado.
	Postcierre / uso del suelo	Para cielo abierto, el área recuperada debe orientarse a un uso "acorde con el medio ambiente circundante y los planes de ordenamiento territorial municipal". Para minería subterránea, se deben prever "los posibles daños... por efecto de la subsidencia tardía del terreno" y "tener en cuenta el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) en la etapa del post-cierre".	El PTOC conecta cierre minero, uso futuro del suelo y ordenamiento territorial.
	Anexo técnico para pequeña escala	El anexo "debe ser adaptado... a la producción y demás especificaciones técnicas y ambientales para cada solicitud de contrato". Si la propuesta inicia solo en exploración, se debe atender el Formato A adoptado por la ANM; es decir, hereda los mínimos ambientales ligados a dicho formato.	Desde la solicitud misma, el proyecto debe ser coherente con exigencias técnicas y ambientales.
	Línea base de explotación	Debe presentarse un mapa topográfico actualizado que referencie "ríos, quebradas y brazos menores, lagunas, cerros", así como "escombreras, patios de acopio", etc. Para material de arrastre sobre cauce, exige "levantamiento topográfico y batimétrico... aguas abajo y aguas arriba". También exige informe geomorfológico del río para identificar "cauce activo, lecho mayor, vegas de inundación, diques, terrazas, islas, barras de arena" y delimitar "sectores de agradación".	La línea base del anexo técnico incorpora variables geomorfológicas e hídricas necesarias para la coherencia ambiental.



Anexo técnico para solicitudes de contrato de concesión con requisitos diferenciales. Resolución 614 de 2020	Planeación minera / restricciones ambientales	Para explotación anticipada sobre cauce, el diseño minero y el volumen anual de explotación deben sustentarse en "topografía, levantamiento batimétrico, análisis de la morfología del río, zonas de agradación, régimen hidrológico y restricciones ambientales".	El diseño minero no puede separarse de las restricciones ambientales del área.
	Actividades principales de operación	Exige: "Desagüe: Descripción, diseño y cálculo del sistema de bombeo para evacuar las aguas acumuladas, mostrar el manejo de las aguas en el plano de desagüe"; "Botadero de estériles"; "Disposición de colas (relaves)"; "Acopio de suelos"; y para cauce "tipo y disposición de sobrantes de la explotación y del beneficio". También exige plano de diseño minero con "disposición de los estériles y suelos", plano de desagüe, y plano de infraestructura con "patios de acopio de suelo, escombreras".	El anexo técnico obliga a incorporar desde el diseño minero varios componentes que normalmente son críticos en el instrumento ambiental.
	Costos ambientales y plan de cierre	En la información económica se piden "Costos ambientales (incluidos los del plan de cierre si son aplicables)". El "Plan de Cierre" debe enfocarse a "la recuperación de la estabilidad física, estabilidad química, la recuperación del uso del territorio... y la protección del medio ambiente", y debe contemplar "cierre, desmantelamiento, recuperación, restauración y rehabilitación", con planos y medidas de aprovisionamiento económico.	El documento exige que el componente económico minero incorpore costos ambientales y de cierre.

Notas útiles para el minero

Para garantizar coherencia entre Instrumento minero e Instrumento ambiental, el minero debería verificar como mínimo, que su Instrumento técnico Incluya:

1. Medidas de manejo ambiental y sus costos desde explotación, cuando aplique.
2. Permisos, concesiones, autorizaciones o licencia ambiental según fase y tipo de actividad.
3. Restricciones ambientales del área y compatibilidad con zonas protegidas, cauces y POT/PBOT/EOT.
4. Manejo de aguas, estériles, relaves, suelos y sobrantes, cuando el TDR aplicable lo exija.
5. Plan de cierre, con recuperación/restauración/rehabilitación y costos asociados.