

GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS EN PLANEAMIENTO MINERO PARA OPERACIONES DE PEQUEÑA ESCALA Y FIGURAS DE FORMALIZACIÓN ORO DE FILÓN



ORO

2026



Energía



Uptc®
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



La presente guía fue elaborada en el marco del Convenio Interadministrativo N° 1876 - 2025, suscrito entre el Ministerio de Minas y Energía y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), como un instrumento técnico de apoyo a los procesos de formalización de la pequeña minería. Su propósito es orientar el planeamiento integral de proyectos de explotación de yacimientos de oro de filón mediante la aplicación de buenas prácticas geológicas, mineras, ambientales y financieras, promoviendo operaciones técnicamente viables, seguras, responsables y sostenibles, en concordancia con la normatividad vigente.



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	20
Componentes integrales del planeamiento	21
1 ALCANCE, ESTRUCTURA Y PÚBLICO OBJETIVO	24
1.1 Alcance	24
1.2 Estructura	24
1.3 Público Objetivo	25
2. MECANISMOS DE FORMALIZACIÓN MINERA	26
3. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL PLANEAMIENTO MINERO	35
3.1 Marco normativo	36
3.2 Sistema de referencia	37
3.3 Presentación planos	39
3.4 Información geografía en las etapas de planeamiento minero	41
3.4.1 Componente topográfico	41
3.4.2 Componente geológico	42
3.4.2.1 Cartografía geológica	43
3.4.2.2 Muestreo geológico y geoquímico	44
3.4.2.3 Caracterización geotécnica	44
3.4.2.4 Modelo geológico	45
3.4.3 Componente hidrológico	47
3.4.4 Componente minero	49
3.4.5 Componente ambiental	51
3.5 Entrega de la información geográfica conforme al Modelo de Datos Geográficos (MDG)	53
3.6 Entrega de información al Banco de Información Minera (BIM)	55
3.7 Reconciliación de recursos y reservas minerales	55

4. CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN MINERA Y EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO 57

4.1 Caracterización de la operación minera 58

4.2 Componentes de la operación minera 58

4.2.1 Componentes de la caracterización de la operación minera 59

4.2.2 Etapas generales de la operación minera 59

4.2.3 Relación con el modelo geológico y la estimación de recursos 60

4.2.4 Resultado esperado 60

4.3 Evaluación geológica y modelamiento del yacimiento 60

4.3.1 Geología regional 61

4.3.1.1 Alcance en pequeña minería 61

4.3.1.2 Componentes de la Geología Regional 62

4.3.1.3 Protocolo Práctico para Geología Regional 63

4.3.1.4 Herramientas y Ejemplo de Aplicación 64

4.3.1.5 Recomendaciones 65

4.3.2 Geología Local 66

4.3.2.1 Alcance en proyectos de pequeña minería 67

4.3.2.2 Componentes de la geología local 67

4.3.2.3 Protocolo práctico para geología local 68

4.3.2.4 Herramientas y Ejemplo de Aplicación 69

4.3.2.5 Recomendaciones 71

4.3.3 Información de exploración directa y muestreo/ Control de calidad (QA/QC) 71

4.3.3.1 Alcance en pequeña minería 72

4.3.3.2 Componentes de la Exploración Directa y Muestreo 73

4.3.3.3 Protocolo práctico para exploración, muestreo y QA/QC 73

4.3.3.4 Herramientas y ejemplo de aplicación 74

4.3.3.5 Recomendaciones 75

4.3.4 Caracterización del yacimiento aurífero 76

4.3.4.1 Alcance en proyectos de pequeña minería 77

4.3.4.2 Componentes de la caracterización del yacimiento 77

4.3.4.3 Protocolo práctico para la caracterización del yacimiento 78

4.3.4.4 Herramientas y ejemplo de aplicación 79

4.3.4.5 Recomendaciones 80

4.3.5 Modelo geológico 81

4.3.5.1 Alcance en proyectos de pequeña minería 82

4.3.5.2 Componentes del modelo geológico 82

4.3.5.3 Protocolo práctico para construir el modelo 82

4.3.5.4 Representación e interpretación del modelo geológico 83

4.3.5.5 Resultados Esperados 86

4.3.5.6 Recomendaciones 86

4.3.6 Requerimientos técnicos en la formalización minera 87

4.3.7 Estimación preliminar de recursos 88

4.3.7.1 Perspectivas razonables de explotación 88

4.3.7.2 Enfoques aplicables para la estimación de recursos 90

4.3.7.3 Integración del modelo geológico para el cálculo del recurso 90

4.3.7.4 Aplicación de parámetros técnicos para la estimación de recursos 91



4.3.7.5 Recomendaciones	93
4.3.8 Estudio Geotécnico	93
4.3.8.1 Alcance en proyectos de pequeña minería	94
4.3.8.2 Componentes del Estudio Geotécnico	94
4.3.8.3 Protocolo práctico para estudio geotécnico	95
4.3.8.4 Herramientas y ejemplos de aplicación	96
4.3.8.5 Recomendaciones	98
4.3.9 Estimación de recursos	98
4.4 Selección preliminar del método de explotación	104
4.4.1 Criterios generales para la selección del método de explotación	105
4.4.2 Fundamentos para la selección del método de explotación	106
4.4.3 Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación	106

5. DISEÑO DE MINA 108

5.1 Consideraciones geotécnicas mínimas	111
5.1.1 Información geotécnica mínima	111
5.1.2 El control estructural y su efecto directo en el diseño	111
5.1.3 Diseño geotécnico para minería a cielo abierto (si aplica)	112
5.1.4 Diseño geotécnico para minería subterránea	113
5.1.4.1 Diseño de explotaciones subterráneas de oro de filón	114
5.1.4.2 Diseño de explotaciones a cielo abierto (stockwork)	115
5.1.4.3 Diseño minero y dimensionamiento geométrico	115
5.1.5 Sostenimiento como componente de diseño (no como “reacción”)	116
5.1.6 Botaderos, escombreras y depósitos de estéril: geotecnia que suele olvidarse	117
5.1.7 Monitoreo geotécnico mínimo para que el diseño siga siendo válido	117
5.2 Consideraciones hidrogeológicas	119
5.2.1 Caracterización de aguas superficiales y subterráneas	119
5.2.2 Manejo de aguas superficiales	120
5.2.3 Manejo de aguas subterráneas y desagüe minero	120
5.2.4 Tratamiento, recirculación y almacenamiento de agua	121
5.2.5 Monitoreo hidrogeológico	121
5.3 Consideraciones ambientales	121
5.3.1 Gestión de áreas de exclusión y restricción minera	122
5.3.2 Articulación del proyecto minero con el ordenamiento territorial	124
5.3.3 Gestión determinantes ambientales	125
5.3.4 Gestión de áreas de importancia ambiental	125
5.4 Recomendaciones transversales de diseño	125
5.4.1 El diseño debe fundamentarse en la caracterización del yacimiento	125
5.4.2 La secuencia de explotación como herramienta de planeamiento de explotación: el orden es parte del diseño	126
5.4.3 Integración del método de explotación con el proceso de beneficio	127
5.4.4 Actividades de la operación minera	129
5.4.4.1 Arranque y cargue del material	129
5.4.4.2 Transporte interno del mineral y estéril	129



5.4.5 Sistema de energía y electrificación	129
5.4.5.2 Manejo y control de aguas	130
5.4.5.3 Sostenimiento y estabilidad de las labores	130
5.4.5.4 Ventilación (minería subterránea)	130
5.4.6 Integración de la infraestructura con la operación minera	130
5.4.7 Ventilación, electrificación y servicios: si no caben en el diseño, no existen	131
5.4.8 Control de ley y reconciliación minera	131
5.4.9 Seguridad minera y gestión del riesgo incorporadas al diseño	132
5.4.10 Cierre desde el inicio	132
5.4.11 Coherencia con formalización: Trazabilidad y documentación del diseño minero	132
5.5 Integración de los requisitos de seguridad minera en el planeamiento	132
5.6 Planeamiento del beneficio y transformación del mineral aurífero	134
5.6.1 Selección y diseño del proceso de beneficio	135
5.6.2 Eliminación y sustitución del mercurio	135
5.6.3 Control metalúrgico y reconciliación del beneficio	135
5.6.4 Manejo de colas y relaves	135
6. PLANEAMIENTO MINERO	137
6.1 Planeación Estratégica – Largo Plazo	138
6.2 Planeación táctica – mediano plazo	140
6.3 planeación operativa – corto plazo	142
6.4 Planeación de cierre y postcierre	145
7. OPTIMIZACIÓN DEL PLANEAMIENTO MINERO, MONITOREO Y CONTROL	148
7.1 Optimización del plan de minado	149
7.1.1 Enfoque práctico para la optimización del plan de minado	150
7.1.2 Finalidad de la optimización del plan	151
7.2 Monitoreo técnico y operacional	151
7.2.1 Principios para el monitoreo en pequeña minería de oro.	152
7.2.2 Elementos clave a monitorear y su propósito.	152
7.2.3 Herramientas y organización del monitoreo	153
7.3 Sistemas de control y toma de decisiones	154
7.3.1 Propósito de los sistemas de control	155
7.3.2 Componentes esenciales de un sistema de control en pequeña minería de oro	155
7.3.3 Conversión del control en toma de decisiones	157
7.3.4 Integración del sistema de control en la formalización minera	157
7.4 Relación del planeamiento minero con el Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD)	158
8. GESTIÓN AMBIENTAL	159
8.1 Articulación entre los Instrumentos Técnicos Mineros y la Licencia Ambiental	159
8.1.1 Requisitos para la solicitud de viabilidad y licenciamiento ambiental	160
8.2 Identificación de impactos ambientales	162



8.2.1 Evaluación de impactos ambientales en el marco de la formalización minera	162
8.2.2 Evaluación de impactos ambientales en el marco de la pequeña minería	164
8.3 Medidas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales	168
8.3.1 Gestión de materiales y residuos	170
8.3.2 Material estéril	170
8.3.3 Gestión de residuos sólidos ordinarios y peligrosos	173
8.3.4 Gestión del Recurso hídrico desde el planeamiento	176
8.3.5 Gestión de Emisiones Atmosféricas	178
8.3.6 Gestión de la biodiversidad y servicios ecosistémicos	180
8.3.7 Gestión de áreas de beneficio y transformación del del oro de filón.	181
8.3.8 Gestión social integrada al planeamiento minero	184
8.4 Demás consideraciones ambientales	187
8.4.1 Permisos menores	187
8.4.2 Instrumentos técnicos y herramientas de consulta para el planeamiento ambiental	189

9 PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN FINANCIERA 191

9.1 Identificación de costos directos e indirectos	192
9.1.1 Inversiones de capital (CAPEX)	192
9.1.2 Costos operacionales (OPEX)	193
9.1.3 Costos fijos	196
9.1.4 Costos variables	196
9.1.5 Costos mixtos	196
9.1.6 Diferencias y semejanzas entre el costo directo e indirecto	197
9.1.7 Recomendaciones para la identificación de costos	198
9.2 Control de Gastos y Recursos	199
9.2.1 Estados financieros	199
9.2.1.1 Estado de Situación Financiera (o Balance)	200
9.2.1.2 Estado de Resultados (P&L)	200
9.2.2 Ingresos	202
9.2.3 Costos	203
9.2.4 EBITDA	203
9.2.5 EBIT o utilidad operativa	203
9.2.6 Utilidad neta	203
9.2.7 Márgenes financieros	203
9.2.7.1 Margen bruto	204
9.2.7.2 Margen operativo	204
9.2.7.3 Margen neto	204
9.2.8 Capital de trabajo y Capital de Trabajo Neto Operativo (KTNO)	205
9.2.9 Flujo de Caja	206
9.2.9.1 Recomendaciones para el control de gastos y recursos	208
9.3 Proyección financiera del plan de minado	209
9.3.1 Proyección de ventas mensual	209
9.3.2 Proyecciones financieras y el entorno macroeconómico	211
9.4 Priorización de inversiones técnicas	213

9.4.1 Valor Presente Neto (VPN)	214
9.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)	215
9.4.3 Período de Recuperación de la Inversión (Payback)	215
9.4.4 Punto de equilibrio	215
9.4.5 Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC)	216
9.4.6 Recomendaciones para la priorización de inversiones técnicas	218
9.4.7 Recomendaciones generales	220
10. GLOSARIO TÉCNICO Y SIGLAS	222
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	227
12. ANEXOS	230
Anexo 5. Lista de chequeo de buenas prácticas para el diseño minero.	231
Anexo 6. Lista de chequeo de buenas prácticas para el planeamiento minero.	234
Anexo 7. Lista de chequeo de buenas prácticas para la optimización del planeamiento minero	237
Anexo 8. Gestión ambiental	240
Anexo 8.1. Lista de verificación para el planeamiento ambiental de proyectos mineros.	240
Anexo 8.2. Metodología paso a paso para la identificación de impactos ambientales.	245
Anexo 8.3. Requerimientos ambientales en los diferentes instrumentos técnicos mineros.	247



Figuras

Figura 1-1-1a	
Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización	25
Figura 11b	
Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización	27
Figura 2-2	
Clasificación minera para materiales de construcción	34
Figura 3-1	
Secuencia metodológica de Información Geográfica	35
Figura 3-2	
Marco Normativo	36
Figura 3-3	
Plataforma IGAC - conversión de Coordenadas	38
Figura 3-4	
Formato y rótulo de presentación de mapas	40
Figura 3-5	
Secuencia de Cartografía	41
Figura 3-6	
Ejemplo de visualización de modelo geológico 3D (mineralización)	46
Figura 3-7	
Protocolo de muestreo y custodia	48
Figura 3-8	
Ejemplo de obligatoriedad de objetos o capas geográfica	53
Figura 3-9	
Ejemplo de estructura de almacenamiento GDB	54
Figura 3-10	
Formulario de reconciliación de recursos minerales	56
Figura 4-1	
Esquema general de la caracterización de la operación minera	58
Figura 4-2	
Proceso metodológico en geología regional	61
Figura 4-3	
Proceso metodológico en geología local	67
Figura 4-4	
Proceso de exploración y muestreo (QA/QC)	72
Figura 4-5	
Proceso de caracterización del yacimiento	77
Figura 4-6	
Esquema del modelo geológico del yacimiento	81
Figura 4-7	
Ejemplo esquema tipo “semáforo” modelo Geológico	85

Figura 4-8	
Esquema del estudio geotécnico del yacimiento	94
Figura 4-9	
Ejemplo esquema tipo “semáforo” estudio geotécnico	97
Figura 4-10	
Estimación de recursos y reservas	99
Figura 4-11	
Ruta para estimación de reservas auríferas	99
Figura 4-12	
Paso a paso para estimar reserva a partir de recursos	103
Figura 4-13	
Ejemplo Proceso general para la selección preliminar del método de explotación	106
Figura 5-1	
Proceso minero general para pequeña minería	109
Figura 5-2	
Resumen del diseño de mina	110
Figura 5-3	
Mezcla de decisiones	113
Figura 5-4	
Ciclo básico de Excavación	114
Figura 5-5	
Ciclo básico de Excavación	118
Figura 5-6	
Determinantes ambientales para planeamiento minero	122
Figura 5-7	
Consulta anticipada y obligatoria como determinante ambiental	123
Figura 5-8	
Principales restricciones ambientales aplicables al planeamiento minero.	124
Figura 5-9	
Aspectos a tener en cuenta en el diseño	126
Figura 5-10	
Lógica de explotación minera	127
Figura 5-11	
Condiciones para la selección de métodos de explotación	127
Figura 5-12	
Condiciones para la selección de métodos de explotación	128
Figura 5-13	130
Flujo Infraestructura	
Figura 5-14	
Proceso de buenas prácticas en ventilación	131
Figura 6-1	
Niveles de Planeamiento Minero	138
Figura 6-2	
Planeación estratégica de la vida útil de una mina	139
Figura 6-3	
Etapas de la vida de una operación minera.	139

Figura 6-4	
Lógica de planeación minera	140
Figura 6-5	
Etapas del planeamiento minero.	141
Figura 6-6	
Pasos para tener en cuenta para el planeamiento	142
Figura 6-7	
Ciclo planeación operativa	142
Figura 6-8	
Ciclo minero productivo en operaciones mineras.	144
Figura 6-9	
Planeación semana para minería aurífera de pequeña escala	145
Figura 6-10	
Cierre minero.	146
Figura 6-11	
Acciones a tener en cuenta para el planeamiento minero	147
Figura 7-1	
Optimización del planeamiento minero	149
Figura 7-2	
Optimización del plan minero	149
Figura 7-3	
Monitoreo de actividades operativas	152
Figura 7-4	
Proceso para control y toma de decisiones	155
Figura 7-5	
Proceso de seguimiento minero	155
Figura 8-1	
Lista de requisitos para tramites ambientales ante la autoridad ambiental	161
Figura 8-2	
Listado de documentos anexos a la resolución 1830, 2024	163
Figura 8-3	
Paso a paso para identificación de impactos ambientales en el proyecto minero	164
Figura 8-4	
Paso a paso para gestionar impactos	169
Figura 8-5	
Tipo de medidas a implementar	169
Figura 8-6	
Disposición adecuada para materiales estériles a partir de proceso minero	170
Figura 8-7	
Disposición adecuada para materiales estériles a partir de proceso minero	171
Figura 8-8	
Proceso de Revegetalización de taludes en minería de Oro	172
Figura 8-9	
Lista de requisitos para tramites ambientales ante la autoridad ambiental	174
Figura 8-10	

Ejemplo de clasificación de punto ecológico y área de almacenamiento temporal de RESPEL	175
Figura 8-11	
Identificación de impactos de minería de oro sobre el recurso hídrico	177
Figura 8-12	
Propuesta de seguimiento y monitoreo ambiental para minería de oro de filón ____	178
Figura 8-13	
Ilustración de las medidas de seguimiento y monitoreo	181
Figura 8-14	
Actividades para el beneficio de oro de filón	182
Figura 8-15	
Criterios mínimos a tener en cuenta para la definición de las áreas de beneficio de la minería de oro de filón.....	183
Figura 8-16	
Guía para una gestión social responsable	185
Figura 8-17	
Lista de chequeo para cierre minero	187
Figura 8-18	
Definir la presentación de permisos menores	188
Figura 9-1	
Inversiones y activos a largo plazo	193
Figura 9-2	
Costos y gastos más comunes en minería de oro costos	194
Figura 9-3	
Capex Vs Opex	195
Figura 9-4	
Costos Fijos vs Costos Variables	197
Figura 9-5	
Recomendaciones de gestión de costos directos e indirectos	199
Figura 9-6	
Ejemplo de Balance General.....	200
Figura 9-7	
Estructura de un Estado de Resultados (P&L)	201
Figura 9-8	
Recomendaciones para el análisis del Estado de Resultados (P&L)	202
Figura 9-9	
Principales márgenes financieros.....	204
Figura 9-10	
Capital de trabajo	205
Figura 9-11	
KTNO	206
Figura 9-12	
Flujo de caja libre	207
Figura 9-13	
Recomendaciones para el control de gastos en minería de oro	208

Figura 9-14	
Proyecciones financieras y entorno macroeconómico	212
Figura 9-15	
Priorización financiera de inversiones técnicas	214
Figura 9-16	
Fórmula del punto de equilibrio	216
Figura 9-17	
Análisis financiero de un proyecto minero de pequeña escala	217
Figura 9-18	
Recomendaciones para las inversiones técnicas	219
Figura 9-19	
Proceso integrado para la evaluación financiera y priorización de inversiones en el planeamiento minero	220
Figura 9-20	
Proceso integrado para la evaluación financiera y priorización de inversiones en el planeamiento minero	221

Índice de Tablas

Tabla 2-1	
Clasificación de los Mecanismos de Formalización en Colombia	28
Tabla 3-1	
Fuentes oficiales recomendadas	36
Tabla 3-2	
Parámetros de Proyección Geográfica CTM12	37
Tabla 3-3	
Elementos Cartografía Topografía	42
Tabla 3-4	
Elementos cartográficos geología	43
Tabla 3-5	
Elementos cartográfico y laboratorios	44
Tabla 3-6	
Elementos cartográficos de geotecnia	45
Tabla 3-7	
Componentes modelo geológico	46
Tabla 3-8	
Elementos cartográficos hidrología	47
Tabla 3-9	
Elementos cartográficos de minería	50
Tabla 3-10	
Elementos mínimos de caracterización ambiental	52
Tabla 4-1	
Componentes básicos de la caracterización de la operación minera	59
Tabla 4-2	
Fuentes oficiales recomendadas	62
Tabla 4-3	
Componentes de la geología regional	63
Tabla 4-4	
Protocolo práctico para Geología Regional	63
Tabla 4-5	
Matriz de priorización regional	64
Tabla 4-6	
Lineamientos operativos para la aplicación de la geología regional	66
Tabla 4-7	
Componentes geología local	68
Tabla 4-8	
Protocolo práctico para Geología Local	68
Tabla 4-9	
Formato básico para el registro de información geológica local	69
Tabla 4-10	
Lineamientos operativos para la geología local	71

Tabla 4-11	
Componentes para la exploración directa y muestreo	73
Tabla 4-12	
Protocolo práctico para exploración directa y muestreo	73
Tabla 4-13	
Formato de evaluación QA/QC	74
Tabla 4-14	
Formato de control de muestreo	75
Tabla 4-15	
Lineamientos en exploración y QA/AC	76
Tabla 4-16	
Componentes y variables técnicas en la caracterización del depósito	78
Tabla 4-17	
Protocolo práctico para caracterizar el yacimiento	78
Tabla 4-18	
Matriz simple de evaluación del yacimiento	79
Tabla 4-19	
Lineamientos técnicos aplicables	80
Tabla 4-21	
Componentes integrados en el modelo geológico	82
Tabla 4-22	
Protocolo práctico para Modelo Geológico	83
Tabla 4-23	
Modelo geológico en pequeña minería	83
Tabla 4-24	
Ejemplo de Matriz de interpretación del modelo	84
Tabla 4-25	
Lineamientos para la construcción del modelo geológico	86
Tabla 4-26	
Requerimientos técnicos y objetivos en la formalización minera	87
Tabla 4-27	
Criterios básicos para verificar perspectivas razonables de explotación	89
Tabla 4-28	
Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR)	89
Tabla 4-29	
Enfoque para la estimación de recursos ECRR	90
Tabla 4-30	
Protocolo práctico para estimación preliminar de recursos	91
Tabla 4-31	
Formato básico de estimación preliminar	92
Tabla 4-32	
Componentes del estudio geotécnico	95
Tabla 4-33	
Protocolo práctico para estudio geotécnico	95
Tabla 4-34	
Condiciones geotécnicas e implicaciones	96

Tabla 4-35	
Ejemplo del cálculo de Reservas Probables _____	103
Tabla 4-36	
Ejemplo del cálculo de Reservas Probadas. _____	104
Tabla 4-37	
Criterios generales para la selección preliminar del método de explotación _____	105
Tabla 4-38	
Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación _____	107
Tabla 5-1	
Enfoque de diseño de mina _____	109
Tabla 5-2	
Componentes para la caracterización del macizo rocoso _____	111
Tabla 5-3	
Condición estructural _____	112
Tabla 5-4	
Decisiones de diseño _____	113
Tabla 5-5	
Sostenimiento por condición de terreno _____	116
Tabla 5-6	
matriz estratégica de diseño geotécnico del botadero _____	117
Tabla 5-7	
Matriz de monitoreo mínimo _____	118
Tabla 6-1	
Etapas estratégicas _____	138
Tabla 6-2	
Matriz de planeación Táctica _____	141
Tabla 6-3	
Matriz Control operativo _____	143
Tabla 6-4	
Planeación de Cierre _____	146
Tabla 7-1	
Enfoque práctico para la optimización del plan de minado _____	150
Tabla 7-2	
Aspectos de monitoreo en pequeña minería de oro _____	153
Tabla 7-3	
Herramientas y organización _____	154
Tabla 7-4	
Herramientas y organización _____	156
Tabla 7-5	
Checklist control en la operación minera _____	156
Tabla 8-1	
Correspondencia entre los componentes del instrumento técnico minero y la información contenida en el instrumento de gestión ambiental _____	160
Tabla 8-2	
Instrumentos de referencia para la evaluación de impactos ambientales en proyectos de pequeña minería _____	162

Tabla 8-3	
Buena práctica minera en la evaluación de impactos de pequeña minería	164
Tabla 8-4	
Identificación de impactos por actividad	165
Tabla 8-5	
Identificación de impactos componente aire	166
Tabla 8-6	
Identificación de impactos componente agua	166
Tabla 8-7	
Identificación de impactos componente suelo	166
Tabla 8-8	
Identificación de impactos componente comunidad	167
Tabla 8-9	
Identificación de nivel de impactos y cómo actuar	168
Tabla 8-10	
Seguimiento y control de manejo de ZODME	173
Tabla 8-11	
Seguimiento y control de residuos sólidos ordinarios y peligrosos	176
Tabla 8-12	
Gestión de emisiones atmosféricas.	179
Tabla 8-13	
Identificación de impactos de minería de oro subterráneo sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos	180
Tabla 8-14	
Impactos ambientales asociados y gestión en áreas de beneficio	184
Tabla 8-16	
Permisos menores asociados al planeamiento minero.	188
Tabla 8-17	
Instrumentos técnicos y herramientas de consulta para el planeamiento ambiental	190
Tabla 9-1	
Resumen tipos de costos	198
Tabla 9-2	
Flujo de caja libre	207
Tabla 9-3	
Proyecciones financieras	211



INTRODUCCIÓN



La implementación de buenas prácticas de planeamiento minero constituye un elemento fundamental para la formalización de la pequeña minería dedicada a la explotación de yacimientos de oro de filón, al permitir que la actividad extractiva se desarrolle conforme a los estándares técnicos, ambientales, económicos y sociales establecidos en la normatividad vigente. En esta guía, dichas prácticas se entienden como el conjunto de criterios, lineamientos y herramientas 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 trasciende el cumplimiento de los requisitos legales, al contribuir al aprovechamiento racional del recurso mineral, fortalecer la seguridad de las operaciones, optimizar el uso de los recursos disponibles y favorecer la viabilidad técnica, ambiental, social y económica del proyecto en el mediano y largo plazo.

En este contexto, la minería requiere una visión integral y estratégica. La actividad minera no consiste únicamente en la extracción del recurso mineral, sino en la planificación articulada de cada una de las etapas del proyecto para garantizar operaciones eficientes, seguras, con criterios de sostenibilidad, es decir, ambiental y socialmente responsables y económicamente rentables. En el caso de la pequeña minería, el planeamiento constituye una herramienta indispensable para reducir la incertidumbre inherente a la actividad, optimizar la toma de decisiones y mejorar la capacidad de adaptación frente a las condiciones cambiantes del entorno.

Con este propósito, la presente guía desarrolla los principales criterios de planeamiento aplicables a proyectos de explotación de yacimientos de oro de filón, a partir de cuatro componentes interdependientes: geológico y cartográfico, minero, ambiental y financiero. La integración de estos componentes permite estructurar proyectos técnicamente sólidos, promover una adecuada gestión del riesgo y fortalecer los procesos de formalización minera.

Los yacimientos de oro de filón se caracterizan por presentar una elevada variabilidad geológica, cambios en el espesor y continuidad de las vetas, así como variaciones en la ley del mineral, condiciones que hacen indispensable un adecuado planeamiento desde las etapas iniciales del proyecto. En la pequeña minería, una planificación basada en información geológica confiable y en criterios técnicos de explotación permite reducir la incertidumbre, optimizar el aprovechamiento del recurso y mejorar la seguridad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la operación.

Componentes integrales del planeamiento

1. Componente geológico y cartográfico: base técnica del proyecto

Este componente constituye el fundamento sobre el cual se desarrolla el planeamiento del proyecto minero, al proporcionar el conocimiento necesario sobre la naturaleza, distribución y características del yacimiento. Comprende desde la caracterización geológica regional hasta la estimación de recursos minerales, incorporando aspectos geotécnicos, cartográficos y criterios técnicos que respaldan la toma de decisiones, reducen la incertidumbre geológica y disminuyen el riesgo de sobreestimación del recurso.

2. Componente minero: planificación de la operación

Este componente define los métodos, secuencias y condiciones de explotación requeridos para desarrollar una operación técnica, segura y económicamente eficiente. En la pequeña minería, una adecuada planificación de la explotación permite optimizar el aprovechamiento del yacimiento, mejorar la productividad, fortalecer la seguridad operacional y garantizar la continuidad de la actividad frente a las condiciones variables del depósito y del entorno.

3. Componente ambiental: sostenibilidad y gestión del territorio

La dimensión ambiental debe incorporarse desde las etapas iniciales del planeamiento del proyecto, con el propósito de identificar, prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos derivados de la actividad minera, conforme a la normativa aplicable. Su adecuada integración no solo favorece el cumplimiento de las obligaciones ambientales, sino que fortalece la sostenibilidad del proyecto, promueve el uso responsable de los recursos naturales y contribuye al mantenimiento de relaciones constructivas 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 operacionales, ingresos esperados, flujo de caja y rentabilidad, facilitando la planificación de los recursos financieros necesarios para cada etapa del ciclo minero. En la pequeña minería, donde las operaciones suelen ser altamente sensibles a las variaciones del precio de los minerales, los costos de producción y las condiciones del mercado, una adecuada gestión financiera constituye un elemento esencial para la sostenibilidad del proyecto.

En la práctica, una proporción importante de las pequeñas explotaciones mineras presenta limitaciones en el registro y control de costos, así como en la disponibilidad de información técnica y financiera confiable, lo que dificulta la evaluación objetiva de su desempeño y la toma de decisiones. En respuesta a esta situación, la presente guía incorpora lineamientos prácticos para la estimación y control de costos, la planificación financiera y el análisis básico de la viabilidad económica, ajustados a las características y capacidades propias de la pequeña minería.



Esta guía tiene como propósito orientar a los pequeños productores mineros dedicados a la explotación de yacimientos de oro de filón, así como a los demás actores involucrados en los procesos de formalización, en la planificación integral de sus proyectos mineros. Para ello, presenta herramientas y criterios técnicos que permiten planificar todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, desde su formulación hasta el cierre de la operación.



Con este enfoque, la guía busca responder, entre otras, las siguientes preguntas orientadoras:

22

1. ¿Cómo planificar integralmente las diferentes etapas de un proyecto de explotación de oro de filón?
2. ¿Cómo incorporar los criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos requeridos por la normatividad vigente durante el planeamiento minero?
3. ¿Cómo optimizar el aprovechamiento del recurso mineral, reducir los riesgos asociados a la operación y fortalecer la sostenibilidad del proyecto?

De esta manera, se pretende fortalecer la capacidad de los pequeños productores mineros para tomar decisiones fundamentadas en criterios técnicos, contribuyendo al desarrollo de una minería formal, segura, responsable y alineada con las buenas prácticas del sector.



1 ALCANCE, ESTRUCTURA Y PÚBLICO OBJETIVO



24

En este capítulo se define el alcance del documento, se presenta la organización de sus contenidos y se identifica el público objetivo, con el fin de facilitar su aplicación como herramienta para la planificación, desarrollo y gestión de proyectos de explotación de yacimientos de oro de filón técnicamente viables, seguros y sostenibles.

1.1 Alcance

La presente Guía de Buenas Prácticas para el Planeamiento Minero en Operaciones de Pequeña Escala y Procesos de Formalización Minera para la Explotación de Yacimientos de Oro de Filón establece lineamientos técnicos para apoyar la formulación, desarrollo y seguimiento del planeamiento minero durante las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto de explotación.

Su contenido comprende criterios y recomendaciones para la recopilación e interpretación de información geológica y cartográfica, el diseño y planeamiento de la explotación, la incorporación de criterios ambientales, la evaluación de la viabilidad técnico-económica y la planificación del cierre minero, promoviendo una visión integral del proyecto.

La guía está dirigida principalmente a pequeños productores mineros y a los beneficiarios de los mecanismos de formalización minera establecidos en la legislación colombiana que desarrollan proyectos de explotación de yacimientos de oro de filón. Sus lineamientos también podrán ser utilizados como referente técnico en otras operaciones de características geológicas y operativas similares, cuando resulten aplicables.

Las orientaciones aquí contenidas tienen carácter técnico y complementan la aplicación de la normatividad minera y ambiental vigente. En consecuencia, no sustituyen las obligaciones legales, los estudios especializados ni los instrumentos técnicos exigidos por las autoridades competentes para el desarrollo de la actividad minera.

1.2 Estructura

La guía se organiza siguiendo la secuencia lógica del planeamiento de un proyecto de explotación de yacimientos de oro de filón, desarrollando de manera progresiva los componentes que intervienen en la planificación de la actividad minera.

Su contenido se distribuye en capítulos que abordan los aspectos geológicos y cartográficos, mineros, ambientales y financieros, incorporando lineamientos técnicos, criterios de análisis y recomendaciones orientadas a fortalecer la planificación de las operaciones y apoyar la toma de decisiones durante las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto.

La estructura general de la guía se presenta en la **Figura 1-1-1a.**

Figura 1-1-1a

Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización



La organización del documento facilita su consulta como referencia técnica y su aplicación práctica en el planeamiento de proyectos de explotación de yacimientos de oro de filón, así como en la elaboración de los estudios e instrumentos técnicos requeridos para su desarrollo.

1.3 Público Objetivo

Esta herramienta pedagógica está dirigida principalmente a los pequeños productores mineros dedicados a la explotación de yacimientos de oro de filón, así como a los titulares y beneficiarios de los diferentes mecanismos de formalización minera previstos en la legislación colombiana.

Asimismo, constituye una herramienta de consulta para geólogos, ingenieros de minas, ingenieros ambientales, consultores, operadores mineros, profesionales del sector, autoridades competentes, instituciones académicas y demás actores que participan en la formulación, evaluación, seguimiento y ejecución de proyectos mineros de pequeña escala.

Su contenido ha sido desarrollado con un enfoque técnico y práctico que facilita la aplicación de criterios de planeamiento minero acordes con las condiciones de la pequeña minería y contribuye al fortalecimiento de las capacidades técnicas para una explotación segura, eficiente y ambientalmente responsable.



2. MECANISMOS DE FORMALIZACIÓN MINERA

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 Re-

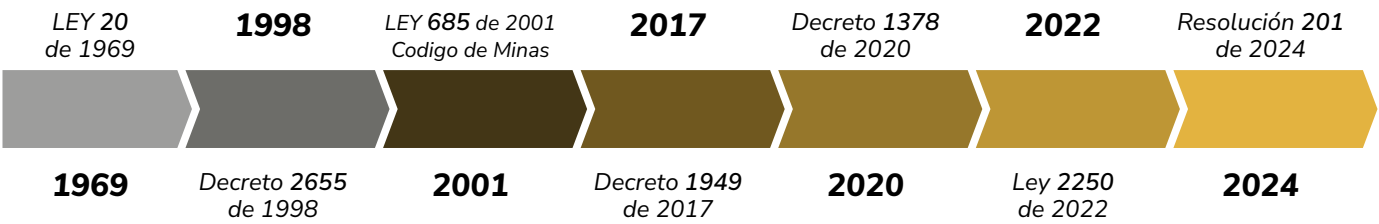
solución 201 de 2024, mediante la cual se establecen lineamientos técnicos y operativos para la implementación de dichos mecanismos.

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



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



El soporte legal de los procesos de legalización y formalización minera en Colombia se fundamenta en la Ley 20 de 1969, que establece la propiedad estatal de los recursos naturales no renovables, y en la Ley 685 de 2001 (Código de Minas), que regula la actividad minera. Este marco se complementa con el Decreto 1949 de 2017 y el Decreto 1378 de 2020, que desarrollan mecanismos de formalización, así como con la Ley 2250 de 2022, que fortalece la pequeña minería. Finalmente, la Resolución 201 de 2024 establece lineamientos

técnicos y operativos para la implementación de estos procesos.

En el marco de los procesos de legalización minera y para la adecuada interpretación de la presente guía de buenas prácticas, es fundamental considerar los distintos procedimientos y mecanismos de formalización existentes, así como sus resultados, particularmente en lo relacionado con el reconocimiento de los actores como pequeños mineros.

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 Etapas Visita técnica Autoridad minera - Autoridad ambiental Exploradores Autorizados - Guías minero-ambientales Permisos, autorizaciones y concesiones (30 días) Mineros: aceptación o rechazo Radicación Evaluación Informe de Viabilidad Contrato - Explotadores de minas de propiedad estatal sin título con anterioridad al 17 de agosto. - Área libre - Visita técnica - Autoridad minera - Autoridad ambiental - Exploradores - Autorizados - Guías minero-ambientales - Permisos, autorizaciones y concesiones (30 días) - Mineros: aceptación o rechazo - Contrato de Concesión Minera - Etapas de Explotación - 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





30

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 ▪ 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.	Ley 685, 2001	Ley 685, 2001, art. 27.	Independencia del Titular Minero con el Operador reconocido
9	Cesión de Derechos	Cesión de derechos	Ley 685, 2001.	Ley 685, 2001, art. 27.	Contrato de Concesión



31



		▪ Un titular minero (cedente) puede transferir a un tercero sus derechos mediante un negocio de carácter privado en que el cesionario entrega obligaciones emanadas del contrato. ▪ Se requiere aviso y autorización de la Autoridad Minera. ▪ En el caso de la cesión parcial, se entrega un porcentaje de los derechos y obligaciones por parte del cedente al cesionario y estos serán responsables solidarios de las obligaciones emanadas del contrato. ▪ Se debe demostrar capacidad económica para soportar las obligaciones derivadas del título minero.			
10	Cesión de Áreas	Cesión de áreas El beneficiario de un título minero Transfiere a un tercero parte de sus derechos mediante la división material del área objeto del título Autorización de la Autoridad Minera Se debe demostrar capacidad económica para soportar las obligaciones derivadas del título minero. Resulta de esta cesión un nuevo contrato de concesión minera en el área objeto de la cesión de áreas, en el área contractual del título madre y duración igual a que le resta al contrato originario. Aprobación Requiere la autorización de la Autoridad Minera. Requiere la autorización de la Autoridad Minera. Tiempos Clave Evaluación Aprobación Temporal Contrato ▪ El beneficiario de un título minero transfiere a un tercero parte de sus derechos mediante la división material del área objeto del título. ▪ Se debe demostrar capacidad económica para soportar las obligaciones derivadas del título minero. ▪ Resulta de esta cesión un nuevo contrato de concesión minera en el área objeto de la cesión de áreas, en la etapa contractual del título madre y duración igual a que le resta al contrato originario, no obstante, puede ser objeto de prórroga, con obligaciones independientes (Técnicas, jurídicas, ambientales, entre otras). ▪ Requiere la autorización de la Autoridad Minera.		Ley 685, 2001, art. 27.	Contrato de Concesión

V

La minería de oro constituye una de las actividades en las que históricamente se ha concentrado una parte importante de la informalidad minera en Colombia. En numerosos territorios, esta situación tiene su origen en explotaciones desarrolladas de manera tradicional o, de hecho, que han evolucionado al margen de los requisitos establecidos por el marco normativo vigente. Aunque estas actividades representan una fuente de sustento para numerosas comunidades, su ejercicio sin título

minero o sin los instrumentos ambientales correspondientes limita el acceso a los mecanismos de formalización previstos por el Estado y restringe las oportunidades de desarrollo técnico, económico y ambiental de las operaciones.

En este contexto, la formalización minera representa un proceso estratégico para promover una actividad minera segura, legal y sostenible. No obstante, su implementación enfrenta diversos de-

safíos asociados a la complejidad de los procedimientos administrativos, los costos derivados del cumplimiento de los requisitos legales y técnicos, las limitadas capacidades técnicas y financieras de los pequeños productores mineros y el acceso insuficiente a información y asistencia especializada. Estas condiciones pueden dificultar el ingreso y la permanencia de los pequeños productores dentro de los mecanismos de formalización establecidos. En respuesta a esta realidad, la Ley 2250 de 2022 consolidó un conjunto de medidas orientadas al fortalecimiento de la pequeña minería y de los procesos de formalización, reconociendo su importancia para el desarrollo económico y social de las regiones. En este marco, la formalización constituye una herramienta para mejorar las condiciones de seguridad, productividad, desempeño ambiental y

competitividad de las operaciones mineras, favoreciendo el aprovechamiento responsable de los recursos minerales y la integración de los pequeños productores a la economía formal.

Desde la perspectiva del planeamiento minero, la formalización adquiere una relevancia particular, dado que la formulación de proyectos técnicamente estructurados constituye uno de los principales soportes para el cumplimiento de los requisitos exigidos por la legislación minera. En este sentido, el planeamiento minero trasciende el diseño de la explotación y se convierte en un instrumento que contribuye a la viabilidad técnica, ambiental y económica de los proyectos, facilitando su incorporación y permanencia dentro de los mecanismos de formalización minera.



LA MINERÍA DE ORO EN EL MARCO DE LA LEY 2250 DE 2022



La minería de oro constituye una de las actividades prioritarias dentro de los procesos de legalización y formalización establecidos en el marco de la Ley 2250 de 2022. En tanto busca fortalecer la regulación de este mineral y contribuir a la reducción de la minería ilegal, particularmente en la región occidental de Colombia.

Aspecto normativo

El Decreto 1666 de 2016 establece la clasificación de la actividad minera en Colombia de acuerdo con el área del título minero, el volumen anual de producción y el tipo de mineral explotado, diferenciando las operaciones de pequeña, mediana y gran minería.

En el caso de los yacimientos de oro de filón, esta clasificación constituye un referente para la definición de los requisitos técnicos, operativos y administrativos aplicables al desarrollo de los proyectos mineros, así como para la determinación de las obligaciones relacionadas con el planeamiento minero, la seguridad en las operaciones y el cumplimiento de la normatividad ambiental.

En concordancia con este marco normativo, la presente guía orienta sus lineamientos y buenas prácticas principalmente hacia las operaciones de pequeña minería, sin perjuicio de que sus criterios técnicos puedan ser adaptados, cuando resulte pertinente, a proyectos de mediana minería con características geológicas y operativas similares.



En las etapas de construcción y montaje, exploración y explotación de Oro Filón 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



3. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL PLANEAMIENTO MINERO

La información geográfica constituye uno de los principales insumos para el planeamiento minero, al proporcionar la base espacial sobre la cual se desarrolla la caracterización del yacimiento, el diseño de la explotación y la evaluación de las condiciones del entorno. Su adecuada integración permite analizar de manera conjunta variables topográficas, geológicas, mineras, ambientales e infraestructurales, facilitando la formulación de proyectos técnicamente consistentes y acordes con las condiciones reales del territorio.

En los proyectos de explotación de yacimientos de oro de filón, la información geográfica adquiere especial relevancia debido a la estrecha relación existente entre la geometría del yacimiento, la topografía superficial y la disposición de las labores mineras. La disponibilidad de información cartográfica confiable contribuye a optimizar el diseño de la explotación, identificar restricciones técnicas y ambientales, evaluar condiciones de accesibilidad y apoyar la gestión de riesgos durante las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto.

En este contexto, la cartografía debe concebirse como un instrumento de análisis para el planeamiento minero y no únicamente como un requisito documental. La representación espacial de los diferentes componentes del proyecto facilita la comprensión de las características del área de explotación, fortalece la toma de decisiones y favorece la articulación entre los componentes geológico, minero, ambiental y de infraestructura.

La **Figura 3-1** resenta la secuencia metodológica para la incorporación de la información geográfica en el proceso de planeamiento minero.

Figura 3-1
Secuencia metodológica de Información Geográfica



Nota. Sin georreferenciación adecuada no existe planeamiento minero técnicamente verificable.

3.1 Marco normativo

El planeamiento minero en Colombia se fundamenta en los instrumentos técnicos exigidos por la Agencia Nacional de Minería (ANM) para cada figura jurídica de explotación o formalización. Con la expedición de la Ley 685 de 2001 (Código de Minas) se sustituyó el régimen anterior del Decreto 2655 de 1988, manteniéndose únicamente

disposiciones transitorias para títulos otorgados bajo ese marco normativo. La siguiente **Figura 32** sintetiza el marco normativo aplicable al planeamiento minero en Colombia, permitiendo identificar la relación entre las figuras jurídicas vigentes y los instrumentos técnicos exigidos por la autoridad minera.

Figura 32
Marco Normativo

LEY 685 / 2001	Instrumento Técnico	TDR Adoptado por la ANM	Cartografía	Planeamiento Minero
	Figura Minera (Tipo Título 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

La **Tabla 31** presenta la correspondencia entre las figuras mineras vigentes y los instrumentos técnicos requeridos, constituyéndose en una guía práctica para la correcta estructuración del planeamiento minero según el marco normativo.

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 de explotación	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

Para garantizar la estandarización técnica, la consistencia espacial y la interoperabilidad de la información geográfica, se recomienda que toda la cartografía asociada al proyecto minero sea elaborada utilizando el sistema oficial de referencia geodésico-MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12), de conformidad con lo establecido en la Resolución 471 de 2020 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La adopción de este sistema facilita el intercambio de información geoespacial con las autoridades mineras, ambientales y demás entidades competentes, asegurando la compatibilidad entre los diferentes insumos cartográficos utilizados durante el planeamiento minero.

La **Tabla 3-2** presenta los parámetros técnicos correspondientes a la proyección cartográfica MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12).

Tabla 3-2

Parámetros de Proyección Geográfica 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

Servicio de conversión de coordenadas

Este servicio en línea le permitirá realizar el proceso de conversión de coordenadas de un punto específico y de un conjunto de datos disponible en diferentes formatos. Este servicio soporta los datum MAGNA-SIRGAS, WGS84 y Bogotá, así como distintas proyecciones cartográficas, como TM, Gauss-Krüger con sus diferentes orígenes.

Sistema de referencia:

Seleccione el sistema de referencia:

WGS 84 (EPSG:4326)

Latitud (Norte con signo +, Sur con signo -) Longitud (Este con signo +, Oeste con signo -)

Ej: 4.668730 Ej: -74.100403

Convertir a Origen Nacional

Proyección para Colombia:

Sistema de proyección para Colombia:

Origen Nacional

Norte (m) Este (m)

Ej: 2000000 Ej: 5000000

Convertir desde Origen Nacional

Fuente: IGAC 2026

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

Adicionalmente, como parte de la implementación operativa de estas buenas prácticas, se recomienda el uso de la plataforma ANNA Minería, administrada por la ANM, como mecanismo de validación preliminar de coordenadas y ubicación de áreas mineras.

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 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.

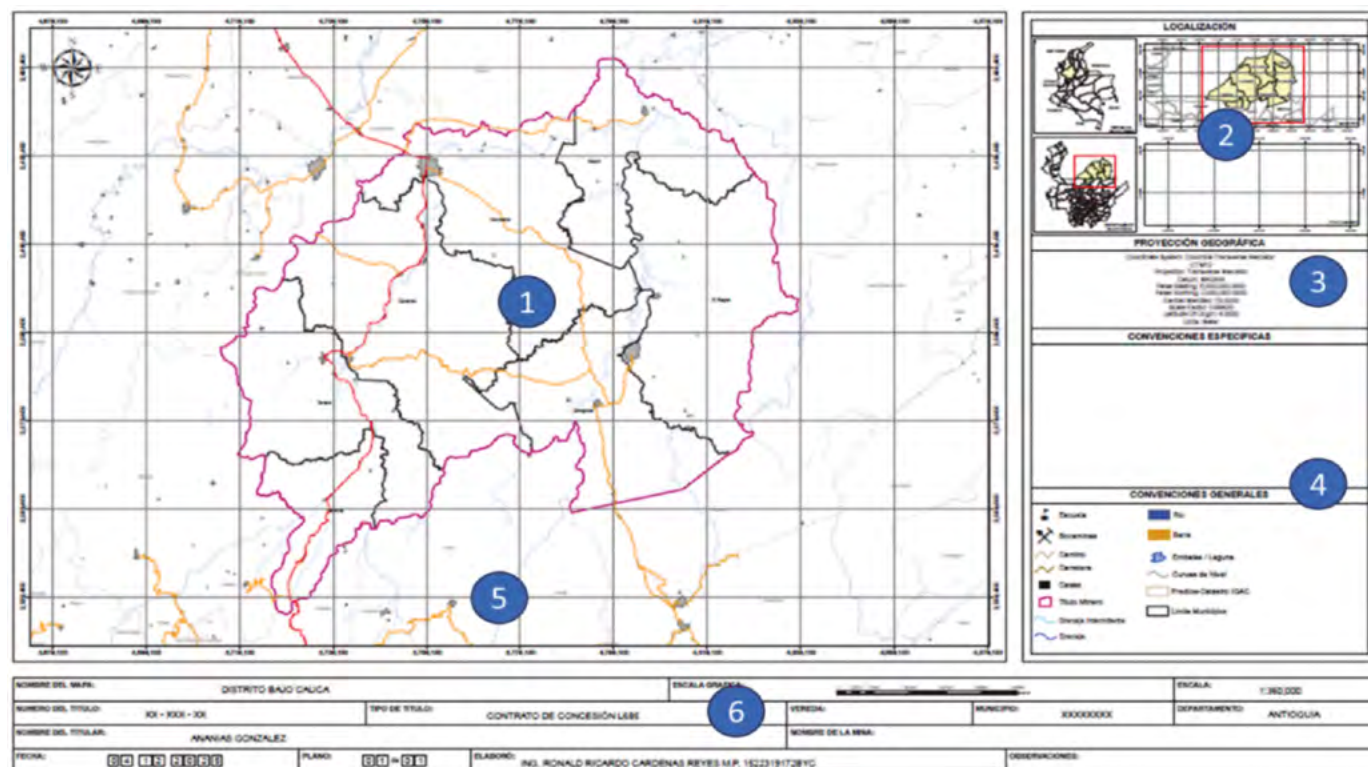




La **Figura 3-4** presenta los elementos mínimos que deben incorporarse en el rótulo y en la estructura general de los planos utilizados en el planeamiento minero.

Figura 3-4

Formato y rótulo 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 geográfica en las etapas de planeamiento minero

La información geográfica constituye un eje transversal del planeamiento minero, dado que proporciona el soporte espacial para la caracterización del yacimiento, el diseño de la explotación, la evaluación de las condiciones ambientales y la planificación de las actividades operativas. En consecuencia, los requerimientos cartográficos y geoespaciales varían de acuerdo con el nivel de desarrollo del proyecto y con los objetivos técnicos de cada etapa del planeamiento.

Con el propósito de facilitar la organización y utilización de esta información, la presente guía agrupa los insumos geográficos en cuatro componentes integrados, los cuales se articulan para apoyar la toma de decisiones durante el ciclo de planeamiento minero. La Figura 35 presenta la estructura general de estos componentes y su relación con las diferentes etapas del proceso.

Figura 35

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 Componente topográfico

La cartografía topográfica constituye uno de los principales insumos para el planeamiento minero, al proporcionar la representación detallada del relieve



y de los elementos naturales y antrópicos presentes en el área del proyecto. Esta información sirve de base para el diseño de las labores mineras, la estimación de volúmenes, la planificación de obras de infraestructura y la evaluación de las condiciones de accesibilidad y drenaje, contribuyendo al desarrollo de proyectos técnicamente viables y seguros.

La calidad y el nivel de detalle de la información topográfica deben ser consistentes con la etapa de desarrollo del proyecto y con el alcance del instru-

mento técnico que se pretenda elaborar. En consecuencia, la selección de la escala cartográfica y de los productos topográficos deberá responder a los requerimientos del planeamiento minero y a las características del área de estudio.

La **Tabla 3-3** presenta los principales productos cartográficos del componente topográfico y su aplicación en las diferentes etapas del planeamiento minero.

Tabla 3-3

Elementos Cartografía Topografía

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.

3.4.2 Componente geológico

El componente geológico constituye un insumo fundamental para el planeamiento minero, al representar de manera espacial las características geológicas que controlan la distribución y continuidad de la mineralización. En los proyectos de explotación de yacimientos de oro de filón, este componente permite integrar la información correspondiente a las unidades litológicas, estructuras geológicas, alteraciones hidrotermales, zonas mineralizadas y demás elementos que condicionan el diseño y desarrollo de la explotación.

3.4.2.1 Cartografía geológica

La elaboración de la cartografía geológica debe sustentarse en información obtenida mediante levantamientos de campo, cartografía geológica de detalle, mediciones estructurales, muestreo y demás actividades de exploración, complementadas, cuando sea pertinente, con información secundaria previamente validada. Toda la información geoespacial deberá estructurarse utilizando el sistema oficial de referencia **MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12)**, garantizando la consistencia espacial y la interoperabilidad con los demás componentes del proyecto.

Las escalas de levantamiento y de representación cartográfica dependerán de la extensión del área de estudio, del nivel de conocimiento geológico alcanzado y del grado de detalle requerido para el instrumento técnico correspondiente. La **Tabla 3-4** presenta los principales productos cartográficos del componente geológico y su aplicación durante las diferentes etapas del planeamiento minero.

Tabla 3-4
Elementos cartográficos geología

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Geología Regional	¿Cuál es el contexto estratigráfico y estructural donde se ubica el yacimiento?	Viabilidad geológica y priorización de áreas	1:25.000 – 1:10.000	Identificación de unidades, estructuras mayores y marco geológico del proyecto
Puntos de Control Geológico	¿Qué información medida sustenta el modelo geológico?	Confiabilidad técnica del modelo	1:5.000 – 1:1.000	Base de datos georreferenciada de puntos superficiales y subterráneos con datos estructurales
Mapa iso-leyes	¿Cómo varía geométricamente las vetas en profundidad?	Estimación de recursos y definición de accesos	≥ 1:2.000	Superficies estructurales y mineralizaciones integradas al modelo
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

Como buena práctica técnica, se recomienda:

1. Utilizar imágenes satelitales con acceso gratuito como apoyo para interpretación regional y control de campo.
2. Emplear Modelo Digital de Terreno (MDT) para análisis estructural regional.
3. No basar la cartografía exclusivamente en información secundaria sin verificación de campo.
4. No extrapolar continuidad estructural o estratigráfica sin datos medidos.
5. Georreferenciar todos los puntos en el sistema oficial MAGNA-SIRGAS / CTM12.
6. Entregar archivos en formato editable (shp, geopackage o dwg georreferenciado).
7. Mantener trazabilidad y custodia de muestras vinculadas a los puntos cartografiados.
8. Garantizar coherencia entre cartografía geológica, topografía y diseño minero.



3.4.2.2 Muestreo geológico y geoquímico

El objetivo es representar la localización de las muestras recolectadas en campo, dichas muestras tienen como objeto establecer las características geoquímicas del mineral y/o depósito de interés. La **Tabla 3-5** establece los elementos cartográficos asociados al muestreo y análisis de laboratorio, necesarios para garantizar la representatividad y trazabilidad de la información de calidad del oro.



Tabla 3-5
Elementos cartográfico y laboratorios

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. Ensayo al fuego (Fire Assay) 3. Análisis multielemental (ICP-OES / ICP-MS) 4. Microscopía petrográfica 5. Microscopía electrónica (SEM) 6. Difracción de Rayos X (DRX) 7. Análisis granulométrico del oro 8. Pruebas metalúrgicas 9. Análisis de carbono orgánico (TOC) 10. Análisis de azufre total 11. Densidad y humedad de la roca

3.4.2.3 Caracterización geotécnica

La caracterización geotécnica tiene como finalidad evaluar las condiciones geomecánicas del macizo rocoso mediante la integración de información obtenida en campo, registros estructurales, ensayos de laboratorio y demás datos técnicos que permitan determinar el comportamiento del terreno frente a las actividades de explotación minera. La información geotécnica constituye un insumo para el diseño de accesos, excavaciones, frentes de explotación, sistemas de sostenimiento y demás obras subterráneas, contribuyendo a la estabilidad de las labores y a la seguridad de las operaciones. Las escalas de levantamiento y representación

de la información geotécnica deberán definirse de acuerdo con el nivel de detalle requerido para el instrumento técnico correspondiente y las características geológicas del área de estudio. La **Tabla 3-6** presenta los principales elementos cartográficos y geotécnicos utilizados para la caracterización del macizo rocoso y su aplicación en el planeamiento minero.

Tabla 3-6
Elementos cartográficos de geotecnia

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.

3.4.2.4 Modelo geológico

El modelo geológico constituye uno de los principales insumos para el planeamiento minero, al integrar de manera sistemática la información geológica obtenida durante las etapas de exploración y caracterización del yacimiento. Su elaboración permite comprender la geometría, distribución, continuidad y características de la mineralización, proporcionando la base técnica para la planificación estratégica, táctica y operativa de la explotación.

Para los yacimientos de oro de filón, el modelo geológico deberá integrar, como mínimo, la información litológica, estructural, estratigráfica, geotécnica, hidrogeológica y geoquímica, así como los resultados del muestreo y demás datos relevantes para la caracterización del depósito. La integración de estos componentes permite reducir la incerti-

dumbre geológica y soportar la estimación de recursos minerales, el diseño de las labores mineras y la planificación de la explotación.

El nivel de detalle del modelo geológico y de su representación cartográfica deberá ser consistente con la etapa de desarrollo del proyecto y con el alcance del instrumento técnico correspondiente. La **Tabla 3-7** presenta los parámetros mínimos recomendados para la construcción del modelo geológico aplicado al planeamiento minero en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

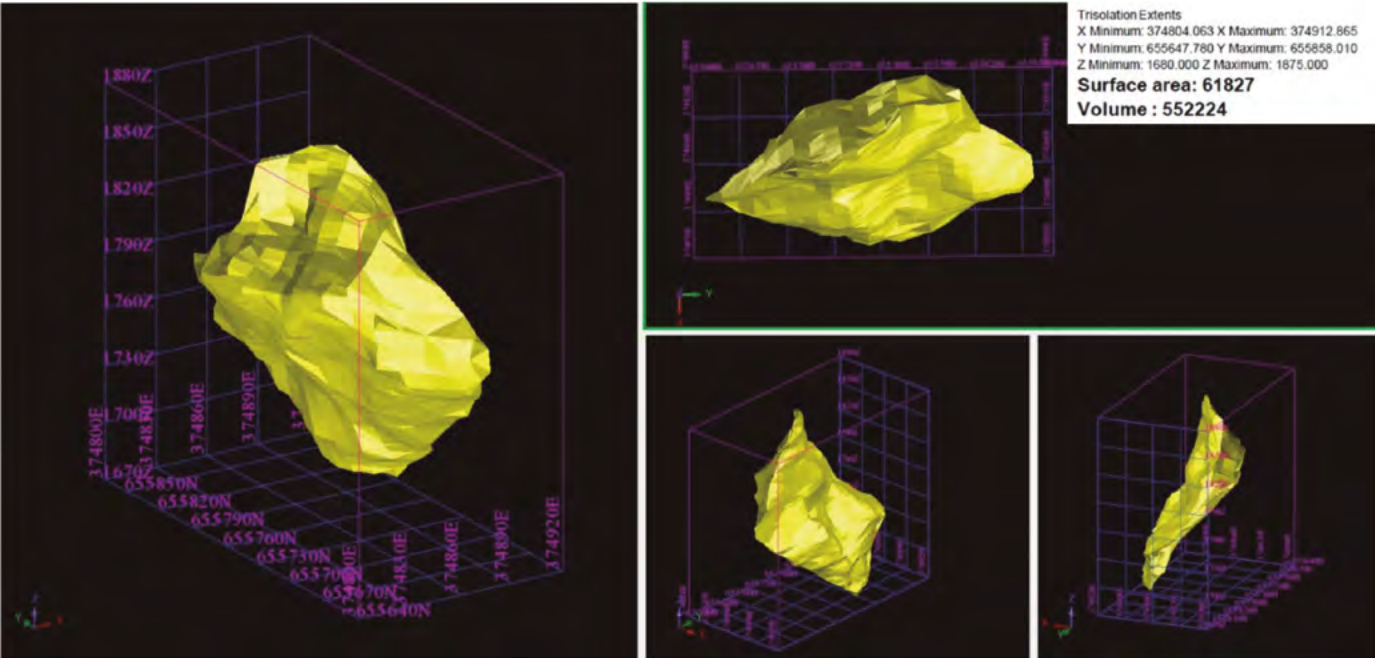


Tabla 3-7
Componentes modelo geológico

Componente	Pregunta técnica clave	Decisión que soporta	Resultado estratégico
Topografía local	¿Cuál es la geometría real del terreno y de las labores mineras existentes?	Delimitación del área de trabajo, ubicación de accesos y control espacial de las labores subterráneas.	Base topográfica georreferenciada del proyecto minero.
Estratigrafía	¿Cómo se distribuyen las unidades litológicas y la geometría de las vetas mineralizadas?	Definición de continuidad de las vetas y proyección del sistema mineralizado.	Columnas estratigráficas y perfiles geológicos que representan la relación techo–veta–piso.
Geología estructural	¿Qué estructuras geológicas controlan la formación, continuidad y estabilidad del yacimiento?	Identificación de controles estructurales que condicionan la explotación.	Delimitación de bloques de explotación y continuidad de vetas.
Calidad del oro	¿Cuál es la distribución espacial de la ley del oro y sus características mineralógicas?	Evaluación del potencial económico y delimitación de zonas mineralizadas.	Zonificación de calidad del mineral y modelo de bloques.
Geotecnia	¿Qué condiciones geomecánicas controlan la estabilidad de las labores subterráneas?	Selección del sistema de sostenimiento y control de estabilidad en galerías y frentes.	Diseño de sostenimiento y control de subsidencia.
Hidrogeología	¿Cómo interactúan las aguas subterráneas con el macizo rocoso y las labores mineras?	Definición de sistemas de drenaje y control de infiltraciones.	Modelo hidrogeológico y diseño de drenajes.
Modelo geométrico del yacimiento	¿Cuál es la forma, continuidad y volumen del cuerpo mineralizado?	Estimación de recursos y planificación de la explotación.	Modelo 3D del yacimiento con estimación de volumen, tonelaje y calidad.

En la **figura 3-6**, se presenta un ejemplo de modelo geológico 3D para la representación de vetas de oro realizado en el software AutoCAD y Surpac 6.6.2.

Figura 3-6
Ejemplo de visualización de modelo geológico 3D (mineralización)



3.4.3 Componente hidrológico

El componente hidrológico proporciona la información necesaria para caracterizar el comportamiento del recurso hídrico superficial dentro del área de influencia del proyecto minero. Su finalidad es apoyar el análisis del régimen de precipitación, la delimitación de cuencas y microcuencas, la identificación de la red de drenaje y la estimación de caudales de diseño requeridos para la planificación de obras hidráulicas y el manejo de aguas durante las diferentes etapas de la explotación.

La información hidrológica constituye un insumo para el diseño de sistemas de drenaje, alcantarillas, canales de conducción, estructuras de control

de erosión y demás obras destinadas al manejo de aguas superficiales, contribuyendo a la seguridad de la operación minera y a la gestión del recurso hídrico.

Las escalas de levantamiento y representación cartográfica deberán definirse en función de la extensión del área de estudio, las características fisiográficas de la cuenca y el nivel de detalle requerido para el instrumento técnico correspondiente. La **Tabla 3-8** presenta los principales productos cartográficos del componente hidrológico y su aplicación en el planeamiento minero.

Tabla 3-8

Elementos cartográficos hidrología

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 descarga	¿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 y sostenimiento	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 la escorrentía y drenaje minero?	Diseño operativo y control de riesgos	1:2.000 o más detallada	Localización de canales, cunetas, sedimentadores y drenajes subterráneos.
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.



Buena práctica

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

- Utilizar series históricas de precipitación y caudal provenientes de estaciones hidrometeorológicas oficiales, priorizando la información generada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) o por otras fuentes técnicamente reconocidas.
- Georreferenciar los cuerpos de agua, puntos de captación, vertimientos, estaciones de monitoreo y demás elementos hidrológicos relevantes utilizando el sistema oficial MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12).
- Integrar la información hidrológica con la cartografía topográfica, geológica y el diseño minero para evaluar de manera conjunta las condiciones del terreno y las necesidades de manejo del recurso hídrico.
- Incorporar en la cartografía tanto los drenajes permanentes como los temporales o intermitentes, cuando estos puedan influir en el diseño, la operación o la gestión del riesgo del proyecto.
- Documentar la metodología empleada para la delimitación de cuencas, el cálculo de áreas de aporte, pendientes y caudales de diseño, indicando las fuentes de información utilizadas.
- Entregar la información geoespacial en formatos editables e interoperables compatibles con Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Figura 3-7

Protocolo de muestreo y custodia



Buena práctica

Como buena práctica para el muestreo geológico y geoquímico, se recomienda:

- Obtener muestras representativas del espesor mineralizado, siguiendo el protocolo de muestreo definido para el proyecto.
- Evitar la contaminación de las muestras durante su extracción, manipulación, almacenamiento y preparación.
- Definir el peso de las muestras de acuerdo con el protocolo de muestreo, el tipo de análisis y los requerimientos del laboratorio. En muestreos de canales para vetas auríferas, como referencia, pueden emplearse muestras entre 5 y 10 kg, cuando las condiciones del proyecto y el método de análisis lo permitan.
- Empacar las muestras utilizando materiales adecuados que garanticen su conservación, asegurando una rotulación clara y un sistema de identificación único.
- Mantener un registro completo de la cadena de custodia desde la toma de la muestra hasta su recepción en el laboratorio.
- Garantizar condiciones adecuadas durante el transporte para preservar la integridad y representatividad de las muestras.
- Realizar un registro fotográfico de las muestras debidamente empacadas y rotuladas antes de su envío al laboratorio.

3.4.4 Componente minero

El componente minero integra la información técnica necesaria para el diseño y la planificación de las labores de explotación, garantizando la trazabilidad entre el modelo geológico, el planeamiento



minero y la ejecución de las operaciones. Su propósito es soportar la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo del yacimiento, la secuencia de explotación, el diseño de las labores y la gestión de la seguridad minera.

La información que conforma este componente debe reflejar la coherencia entre las características del depósito, el método de explotación seleccionado y las condiciones operativas del proyecto, en concordancia con la Ley 685 de 2001, el Decreto 1073 de 2015 y los lineamientos técnicos aplicables emitidos por la ANM.

La Tabla 3-9 presenta los elementos mínimos que deben integrar el componente minero para el planeamiento de proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Tabla 3-9

Elementos cartográficos de minería

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Mapa de delimitación definitiva del área	¿Cuál es el límite espacial del área de explotación y qué restricciones pueden afectar el proyecto?	Definir el polígono operativo del proyecto y verificar superposiciones o restricciones mineras.	1:5.000 – 1:2.000	Área de explotación delimitada y validada frente a restricciones mineras.
Mapa de áreas seleccionadas	¿Qué sectores del yacimiento serán priorizados para la explotación?	Definir bloques o áreas de explotación y sectores no explotables.	1:5.000 – 1:2.000	Zonificación de áreas de explotación.
Plano de infraestructura actual	¿Qué infraestructura minera existe y cómo se integra con el proyecto?	Organización de instalaciones de superficie y soporte operativo.	1:5.000 – 1:1.000	Inventario espacial de infraestructura minera.
Plano de labores actuales	¿Cuál es la configuración actual de las labores subterráneas?	Control de avance minero y planificación de accesos y galerías.	1:2.000 – 1:1.000	Mapa actualizado de labores de desarrollo, preparación y explotación.
Secuenciamiento del proyecto	¿Cómo se desarrollará la explotación en el tiempo y el espacio?	Definir etapas de desarrollo, preparación y explotación del yacimiento.	1:2.000 – 1:1.000	Plan de explotación por fases y proyección de avances mineros.
Actividades principales de operación minera	¿Qué sistemas operativos garantizan el funcionamiento seguro de la mina?	Diseño de transporte interno, drenaje, ventilación y seguridad minera.	1:2.000 – 1:1.000	Planos operativos del sistema minero.
Sostenimiento	¿Qué tipo de soporte requiere el macizo rocoso para garantizar estabilidad?	Selección y diseño del sistema de sostenimiento en labores subterráneas.	1:2.000 – 1:1.000	Diseño de sostenimiento y control de estabilidad.
Ventilación	¿Cómo se garantiza la circulación de aire y el control de gases en la mina?	Diseño del sistema de ventilación y control de atmósfera minera.	1:2.000 – 1:1.000	Sistema de ventilación y rutas de evacuación.
Subsidencia minera	¿Qué efectos puede generar la explotación sobre la superficie?	Identificación de zonas con riesgo de hundimiento o deformación del terreno.	1:2.000 – 1:1.000	Zonificación de riesgo por subsidencia.
Servidumbre minera	¿Qué predios o áreas externas se requieren para el desarrollo del proyecto?	Definición de servidumbres necesarias para la operación minera.	1:2.000 – 1:1.000	Identificación de predios afectados.
Ordenamiento territorial	¿Cómo se articula el proyecto con los instrumentos de planificación territorial?	Verificar compatibilidad con POT, EOT o PBOT del municipio.	1:2.000 – 1:1.000	Evaluación de compatibilidad territorial.
Manejo y disposición de estériles	¿Cómo se gestionarán los materiales estériles generados por la explotación?	Definir ubicación de botaderos y sistemas de estabilidad.	1:2.000 – 1:1.000	Diseño de manejo y disposición de estériles.
Beneficio y transformación de minerales	¿Dónde se realizará el procesamiento del mineral extraído?	Definir ubicación e infraestructura de la planta de beneficio.	1:2.000 – 1:1.000	Localización de la infraestructura de beneficio.



Recuperación geomorfológica y paisajística	¿Cómo se restaurarán las áreas intervenidas por la minería?	Planificar medidas de rehabilitación ambiental y recuperación del paisaje.	1:2.000 – 1:1.000	Diseño de recuperación progresiva de áreas intervenidas.
Plan de cierre y abandono	¿Cómo se garantizará la estabilidad y seguridad del área al finalizar la explotación?	Definir medidas de cierre, desmantelamiento y reconversión del área minera.	1:2.000 – 1:1.000	Plan de cierre progresivo y final del proyecto.



Buena práctica técnica

Como buena práctica para la elaboración y actualización del componente minero, se recomienda:

- Diferenciar claramente, en todos los planos y representaciones gráficas, las labores mineras existentes de aquellas proyectadas.
- Registrar la fecha del levantamiento de la información y la fecha de su última actualización.
- Sustentar el diseño de las labores mineras con información obtenida en campo, evitando el uso de esquemas genéricos o no verificados.
- Diferenciar la planificación anual de la planificación correspondiente a la vida útil del proyecto, indicando el horizonte temporal de cada una.
- Identificar los riesgos asociados al desarrollo de las labores mineras y relacionarlos con las medidas de prevención, control o mitigación definidas.
- Verificar la existencia de superposiciones, restricciones o inconsistencias mediante la plataforma ANNA Minería, cuando corresponda.
- Contrastar la información del proyecto con los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes (POT, PBOT o EOT, según aplique).
- Actualizar la información cartográfica cuando se presenten modificaciones en el diseño o avances significativos de las labores mineras subterráneas.



3.4.5 Componente ambiental

El componente ambiental integra la información geoespacial necesaria para identificar las condiciones, restricciones y determinantes ambientales que deben considerarse durante el planeamiento minero. Su incorporación desde las etapas iniciales del proyecto permite armonizar el diseño de la explotación con la protección de los recursos naturales, la gestión del riesgo y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

En los proyectos de pequeña minería de oro de filón, este componente constituye un insumo para la toma de decisiones relacionadas con la localización de las labores, el manejo ambiental de la operación y la implementación de medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación (Ley 685, 2001; Ley 2250 2022; Decreto 977, 2024) y las demás disposiciones ambientales aplicables.

La **Tabla 3-10** presenta los elementos mínimos recomendados para la caracterización del componente ambiental como apoyo al planeamiento minero en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Tabla 3-10
Elementos mínimos de caracterización 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.

Buena práctica

Como buena práctica para la elaboración del componente ambiental, se recomienda:

- Delimitar claramente las zonas de exclusión, restricción y demás determinantes ambientales aplicables al área del proyecto.
- Utilizar información proveniente de fuentes oficiales, tales como la ANLA, el IDEAM, Parques Nacionales Naturales de Colombia, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y demás entidades competentes.
- Registrar la fecha de consulta o descarga de la información geoespacial utilizada.
- Incorporar una tabla de traslapes que identifique las áreas de superposición, indicando la

superficie (ha) y el porcentaje correspondiente para cada determinante ambiental.

- Cuando se identifiquen superposiciones con restricciones ambientales, evaluar su incidencia sobre el proyecto y definir las medidas de manejo correspondientes o, cuando aplique, analizar su viabilidad desde el punto de vista normativo.
- Para la representación de coberturas y usos del suelo, utilizar la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.
- Verificar y complementar la información cartográfica mediante el análisis de imágenes satelitales recientes u otras fuentes de percepción remota disponibles.





Nota técnica

Los elementos cartográficos presentados en este apartado corresponden a un conjunto mínimo de referencia para apoyar el planeamiento minero y la elaboración de los planos del proyecto. Dependiendo de las características del área de estudio y de los requerimientos de la autoridad ambiental competente, podrán requerirse capas de información adicionales.

En los procesos de formalización minera, la información geoespacial deberá ajustarse a los requisitos definidos para el trámite correspondiente. La aplicación del modelo de datos establecido en la Resolución 2182 de 2016 y de las herramientas de validación asociadas dependerá de las disposiciones normativas y de las exigencias de la autoridad competente en cada caso.

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

Cuando el instrumento técnico o el trámite correspondiente lo requiera, la información geográfica deberá entregarse de conformidad con el Modelo de Datos Geográficos (MDG) establecido por la

Agencia Nacional de Minería (ANM), utilizando una Geodatabase (GDB) o, cuando sea aplicable, archivos Shapefile (.shp).

La Geodatabase constituye el formato recomendado para el almacenamiento, organización y gestión de la información geoespacial del proyecto, al permitir integrar de manera estructurada las capas geográficas, sus atributos y las relaciones entre ellas. Su diligenciamiento podrá ser total o parcial, de acuerdo con la modalidad del contrato, el alcance del instrumento técnico y los requerimientos definidos por la ANM.

Las capas geográficas requeridas podrán variar según el mineral, el método de explotación, la etapa del proyecto y demás condiciones técnicas aplicables. En consecuencia, la Agencia Nacional de Minería establecerá, para cada trámite, el conjunto de capas obligatorias que deberán integrar la información geográfica presentada.

La **Figura 3-8** presenta un ejemplo de la estructura de capas geográficas definida en el Modelo de Datos Geográficos de la ANM, como referencia para la organización de la información espacial del proyecto.

Figura 3-8

Ejemplo de obligatoriedad de objetos o capas geográfica

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

Buena práctica

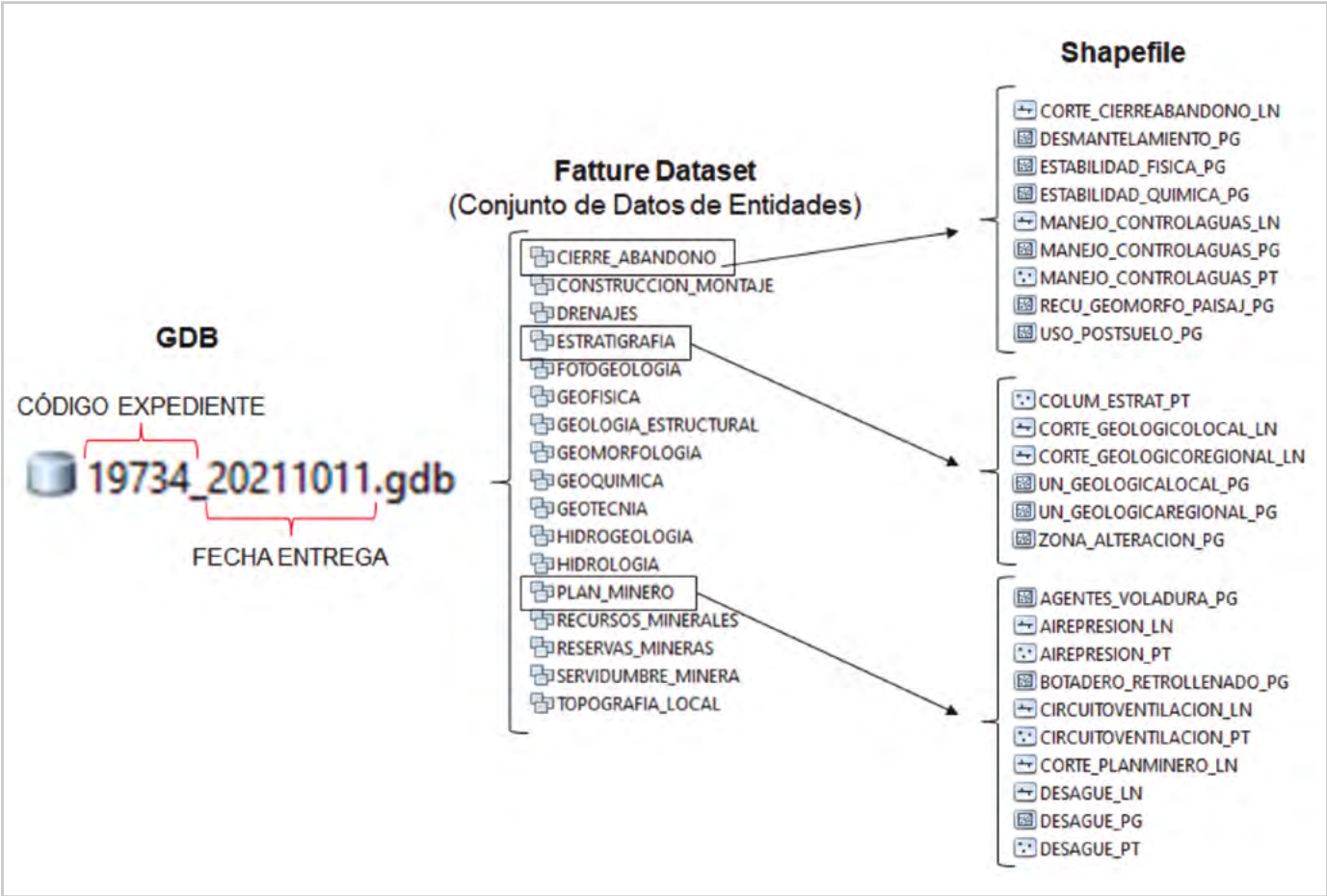
Como buena práctica para la preparación y entrega de la información geográfica, se recomienda:

- Utilizar la versión vigente del Modelo de Datos Geográficos (MDG) publicado por la Agencia Nacional de Minería.
- Justificar técnicamente, mediante un documento de soporte, la no aplicación de aquellas capas geográficas consideradas obligatorias cuando corresponda.
- Evitar la entrega de capas vacías o incompletas sin la respectiva justificación técnica.

- Incorporar metadatos completos y consistentes para cada conjunto de datos geográficos entregado.

Para su presentación, la Geodatabase deberá nombrarse de acuerdo con el código del expediente y la fecha de entrega (AAAA/MM/DD), siguiendo la estructura establecida por la Agencia Nacional de Minería. La **Figura 3-9** muestra un ejemplo de organización y almacenamiento de la Geodatabase, orientado a garantizar la trazabilidad, integridad y adecuada gestión de la información geográfica durante el desarrollo del proyecto.

Figura 3-9
Ejemplo de estructura de almacenamiento GDB



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

Una vez aprobado el instrumento técnico por la ANM, el titular minero deberá suministrar al Banco de Información Minera (BIM), administrado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la información geológica generada durante las actividades de exploración, evaluación y estimación de recursos y reservas minerales, cuando así lo establezca la normativa vigente.

De conformidad con la Resolución 100 de 2020, el suministro de la información deberá realizarse mediante la Lista de Entrega de Información (LEI), siguiendo los lineamientos establecidos en el Manual de Suministro y Entrega de la Información Geológica Generada en el Desarrollo de Actividades Mineras (MSE).

El cumplimiento de este procedimiento contribuye a la consolidación del conocimiento geológico del país, facilita la gestión de la información técnica y fortalece los procesos de seguimiento y fiscalización de la actividad minera.



3.7 Reconciliación de recursos y reservas minerales

La reconciliación de recursos y reservas minerales constituye un proceso de verificación técnica que permite comparar las estimaciones contenidas en el instrumento técnico aprobado con los resultados obtenidos durante la explotación. Su finalidad es evaluar el desempeño del modelo geológico, validar las estimaciones realizadas y soportar la actualización de la información técnica conforme a los lineamientos del Estándar Colombiano para el Reporte Público de Recursos y Reservas Minerales (ECRR).

La aplicación de este proceso dependerá del instrumento técnico aprobado por la autoridad minera, de acuerdo con las siguientes condiciones:

1. **Títulos mineros con PTO aprobado bajo el Estándar Colombiano (ECRR-CRIRSCO):** la obligación de presentar la reconciliación anual aplica a partir de la aprobación del Programa de Trabajos y Obras (PTO) elaborado conforme al estándar adoptado por la Agencia Nacional de Minería.
2. **Figuras de formalización minera con instrumento técnico aprobado:** mientras continúen operando bajo el instrumento técnico correspondiente, no estarán obligadas a presentar la reconciliación anual bajo el estándar ECRR. No obstante, una vez deban adoptar un Programa de Trabajos y Obras elaborado bajo dicho estándar y este sea aprobado por la autoridad minera, surgirá la obligación de efectuar la reconciliación anual conforme a la normativa vigente.

En consecuencia, la obligación de presentar la reconciliación anual no depende únicamente de la existencia del título minero, sino de la aprobación del instrumento técnico elaborado bajo el Estándar Colombiano para el Reporte Público de Recursos y Reservas Minerales.

La **Figura 3-10** presenta un ejemplo del formulario de reconciliación de recursos y reservas minerales utilizado como herramienta para el seguimiento técnico de las estimaciones y de la producción minera.



Figura 3-10
Formulario de reconciliación de recursos minerales

AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA

FORMULARIO DE RECONCILIACIÓN DE RECURSOS MINERALES

R1	Periodo Reportado		Ciclo estimado	Desde	0/01/1900	Hasta	0/01/1900
----	-------------------	--	----------------	-------	-----------	-------	-----------

INFORMACIÓN GENERAL									
R2	Expediente Minero			R3	Etapa				
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	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 última reconciliación	
R20	Estándar CRIRSCO			R21	Fecha de corte de datos de la estimación				

GRUPO MINERAL, MINERALES Y VARIABLES DE CALIDAD A SOCIADAS									
R22	Grupo mineral			Polimetálicos					
R23	Mineral concesión (aprobado en DT)			R24	Mineral aprobado 1		R25	Mineral aprobado 2	
R26	Variables de calidad / tenor			R29	Variable 1		R30	Variable 2	
R31	Base del reporte ("Carbones")			R32	Variable 3		R33	Variable 4	

ESTIMACIÓN DE RECURSOS BASE / RECONCILIACIÓN																							
R34		Recursos Medidos				R36				Recursos Indicados				R37				Recursos Inferidos				R38	
Tipo dominio	Dominio de estimación																			Observaciones			
tipo mineralizado	Toneladas		300.00																				

Buena práctica

Como buena práctica para el seguimiento y control de los recursos y reservas minerales, se recomienda:

- Aunque el instrumento técnico aprobado no exija de manera inmediata la reconciliación anual conforme al Estándar Colombiano para el Reporte Público de Recursos y Reservas Minerales (ECRR), implementar mecanismos de control periódico de la operación, incluyendo el seguimiento mensual de la producción, la actualización de los avances de las labores mineras y el control de los volúmenes extraídos. Esta información facilitará la preparación de futuras reconciliaciones y la actualización del modelo geológico.
- Una vez aprobado el instrumento técnico bajo el Estándar Colombiano para el Reporte Público de Recursos y Reservas Minerales (ECRR), aplicar el procedimiento y los formatos establecidos por la Agencia Nacional de Minería para la presentación de la reconciliación anual de recursos y reservas, utilizando la versión vigente del instructivo oficial correspondiente.



4. CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN MINERA Y EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO

El planeamiento minero requiere una caracterización integral del yacimiento y de las condiciones bajo las cuales se desarrollará la explotación. Para ello, es necesario analizar de manera sistemática la información geológica, geotécnica, hidrogeológica y minera disponible, con el fin de evaluar el potencial del depósito, estimar los recursos y reservas minerales y definir el método de explotación más adecuado. Este capítulo presenta los criterios técnicos que orientan este proceso como base para el diseño y desarrollo de proyectos de pequeña minería de oro de filón.

4.1 Caracterización de la operación minera



58

La caracterización de la operación minera constituye el punto de partida del planeamiento técnico en proyectos de pequeña minería de oro de filón, ya que permite comprender de manera integral las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas, mineras y operacionales que condicionan el desarrollo de la explotación. Esta etapa integra la información obtenida durante la exploración y caracterización del yacimiento con las condiciones del macizo rocoso, el método de explotación previsto y la infraestructura requerida para desarrollar una operación técnicamente viable, segura y acorde con la escala del proyecto.

En la pequeña minería de oro de filón, la caracterización de la operación tiene como propósito definir los criterios técnicos que orientarán la planificación de las actividades de exploración, desarrollo, preparación, explotación y beneficio del mineral, de acuerdo con la complejidad y el nivel de desarrollo del proyecto. Para ello, es necesario identificar las principales características de la mineralización, la geometría y continuidad del cuerpo mineralizado, las condiciones geomecánicas e hidrogeológicas, los accesos a la mina, la infraestructura disponible y las demás restricciones que puedan influir en el diseño y la ejecución de la explotación.

Una adecuada caracterización de la operación minera contribuye a reducir la incertidumbre durante el planeamiento, optimizar el aprovechamiento del recurso mineral, mejorar las condiciones de seguridad minera y facilitar la toma de decisiones técnicas en las diferentes etapas del proyecto. Asimismo, constituye el soporte para la elaboración del Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD), del Programa de Trabajos y Obras Complementario (PTOC) y de los demás instrumentos técnicos requeridos en los procesos de formalización minera.

La **Figura 4-1** presenta la secuencia general propuesta para la caracterización de la operación minera en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Figura 4-1

Esquema general de la caracterización de la operación minera



4.2 Componentes de la operación minera

La caracterización de la operación minera comprende la recopilación, organización y análisis de la información necesaria para describir las condiciones técnicas bajo las cuales se desarrollará la explotación del yacimiento. Esta información constituye la base para definir el método de explotación, planificar las labores mineras y evaluar la viabilidad técnica del proyecto. En esta sección se presentan los principales componentes de la caracterización, las etapas generales de la operación minera, su relación con el modelo geológico y la estimación de recursos minerales, así como los resultados esperados de este proceso en proyectos de pequeña minería de oro de filón.



4.2.1 Componentes de la caracterización de la operación minera

La caracterización de la operación minera integra un conjunto de componentes técnicos que permiten describir las condiciones geológicas, mineras y operacionales bajo las cuales se desarrollará la explotación del yacimiento. La evaluación conjunta de estos componentes proporciona la información necesaria para caracterizar la operación, evaluar el yacimiento, definir el método de explotación y orientar el planeamiento de las actividades mineras.

La **Tabla 4-1** presenta los principales componentes considerados en la caracterización de la operación minera, junto con su descripción y finalidad dentro del proceso de planeamiento minero.

Tabla 4-1

Componentes básicos de la caracterización de la operación minera

Componente	Descripción	Finalidad
Tipo de yacimiento	Identificación del tipo de depósito aurífero (vetas, sistemas de vetillas, cuerpos mineralizados asociados a zonas de cizalla, entre otros).	Comprender el comportamiento geológico del yacimiento y orientar el diseño minero.
Mineralización	Caracterización general del mineral, ganga, controles estructurales y continuidad de la mineralización.	Definir las condiciones para la exploración, explotación y beneficio del mineral.
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 subterráneo o superficial según las condiciones del yacimiento.	Orientar el desarrollo de labores, secuencia de explotación y estabilidad de la operación.
Infraestructura minera	Identificación de accesos, bocaminas, galerías, chimeneas, patios, zonas de beneficio, ventilación, drenaje y demás obras requeridas.	Verificar la viabilidad técnica y operativa del proyecto.
Etapas de la operación	Descripción general de las actividades desde la exploración hasta el cierre de mina.	Organizar el desarrollo progresivo del proyecto.

4.2.2 Etapas generales de la operación minera

La operación minera en proyectos de pequeña minería de oro de filón se desarrolla mediante una secuencia de actividades técnicas que abarcan desde la recopilación inicial de información hasta el cierre de la mina. Aunque el alcance de cada etapa puede

variar según las características del yacimiento, el método de explotación y el grado de avance del proyecto, de manera general el proceso comprende las siguientes fases:

- Planeación y recopilación de la información disponible.



- Evaluación geológica regional y local.
- Caracterización del yacimiento y de la mineralización.
- Exploración directa y muestreo.
- Construcción del modelo geológico.
- Estimación preliminar de recursos minerales.
- Selección del método de explotación.
- Desarrollo y preparación de las labores mineras.
- Explotación, beneficio y control operacional.
- Cierre y recuperación de las áreas intervenidas.

Estas etapas no constituyen procesos independientes, sino que conforman un proceso continuo e iterativo, en el cual la información obtenida durante la exploración, el desarrollo de las labores y la explotación permite actualizar permanentemente el conocimiento del yacimiento y ajustar las decisiones técnicas y operacionales durante el ciclo de vida del proyecto.

4.2.3 Relación con el modelo geológico y la estimación de recursos

La caracterización de la operación minera proporciona la información técnica necesaria para desarrollar el modelo geológico y realizar la estimación preliminar de recursos minerales. La integración de la información geológica, estructural, geotécnica y operativa permite comprender la geometría y continuidad del cuerpo mineralizado, constituyendo la base para la evaluación del yacimiento y el posterior diseño de la explotación.

A partir de esta información es posible identificar los sectores con mayor potencial minero, seleccionar el método de explotación más apropiado y

orientar la planificación de las labores mineras. Los procedimientos y buenas prácticas para la construcción del modelo geológico y la estimación de recursos se desarrollan en las secciones siguientes de este capítulo.

4.2.4 Resultado esperado

Como resultado de esta etapa se espera disponer de una caracterización técnica integral de la operación minera, que incluya la identificación del tipo de yacimiento, las características de la mineralización, el método de explotación preliminar, la infraestructura requerida y la secuencia general de desarrollo del proyecto. Esta información constituye el punto de partida para la evaluación geológica del yacimiento, la construcción del modelo geológico, la estimación preliminar de recursos minerales y el diseño de la explotación, asegurando la coherencia entre el conocimiento del depósito y el planeamiento minero.

4.3 Evaluación geológica y modelamiento del yacimiento

La evaluación geológica y el modelamiento del yacimiento constituyen la base técnica para comprender las características del depósito mineral y reducir la incertidumbre durante el planeamiento minero. En esta sección se presentan las buenas prácticas para desarrollar la evaluación geológica en proyectos de pequeña minería de oro de filón, incluyendo la geología regional y local, la caracterización del yacimiento, la exploración y el muestreo, la construcción del modelo geológico y la estimación preliminar de recursos minerales. Estos elementos permiten sustentar técnicamente la selección del método de explotación y las decisiones de diseño y planificación de la operación minera.

4.3.1 Geología regional

La geología regional constituye el punto de partida para la evaluación del potencial aurífero de un área y proporciona el contexto geológico necesario para orientar el planeamiento minero. Su análisis comprende la interpretación de las unidades litológicas, las estructuras geológicas, la geomorfología y los principales procesos geológicos que controlan la formación y distribución de los yacimientos de oro. Esta información permite identificar sectores favorables para la exploración, reducir la incertidumbre técnica y optimizar la planificación de las actividades de exploración en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

En pequeña minería, la geología regional cumple las siguientes funciones:

Orientar la exploración hacia sectores con mayor potencial aurífero.

Priorizar áreas con mejores perspectivas para el desarrollo del proyecto.

Reducir la incertidumbre técnica antes de ejecutar actividades de exploración directa y muestreo.

Optimizar la inversión de recursos técnicos, económicos y operativos.

La información obtenida en esta etapa constituye la base para el desarrollo de la geología local, la caracterización del yacimiento y la evaluación geológica del proyecto.

La **Figura 4-2** presenta la secuencia metodológica propuesta para el desarrollo de la geología regional.

Figura 4-2

Proceso metodológico en geología regional



4.3.1.1 Alcance en pequeña minería

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, la evaluación geológica regional debe:

- Basarse en cartografía geológica oficial del Servicio Geológico Colombiano (SGC) a escala 1:25.000 o en la información de mayor detalle disponible.
- Identificar las unidades litológicas dominantes y su relación con la mineralización aurífera.



- Reconocer las principales estructuras geológicas que controlan el emplazamiento de los cuerpos mineralizados.
- Analizar las características geomorfológicas asociadas a la presencia de vetas o depósitos auríferos.
- Relacionar estos elementos con el potencial geológico del área de estudio.

De acuerdo con el alcance de la pequeña minería, esta etapa no requiere modelamientos estructurales complejos ni estudios geológicos regionales de alta especialización, sino una interpretación técnica suficiente para orientar las etapas posteriores de exploración y evaluación del yacimiento.

La **Tabla 4-2** presenta las principales fuentes oficiales de información recomendadas para el desarrollo de la evaluación geológica regional.

Tabla 4-2

Fuentes oficiales recomendadas

Fuente oficial	Información disponible	Aplicación en la evaluación geológica regional
Servicio Geológico Colombiano (SGC)	Cartografía geológica oficial, mapas geológicos, información estructural y bases geocientíficas. https://www.sgc.gov.co Sección: Geoportal ☐ Cartografía Geológica.	Identificar unidades litológicas, estructuras y contexto geológicos regional del área de estudio.
Agencia Nacional de Minería (ANM)	Catastro Minero Colombiano y capas de información minera. https://www.anm.gov.co Sección: Geoportal / Catastro Minero Colombiano.	Verificar títulos mineros, áreas de interés y antecedentes de actividad minera.
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)	Modelos digitales de elevación, cartografía básica y ortofotografías. https://www.igac.gov.co Sección: Servicios ☐ Información Geográfica.	Analizar el relieve, la geomorfología y apoyar la interpretación geológica.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	Red hidrográfica, información climática y cartografía ambiental. http://www.ideam.gov.co Sección: Información ambiental y cartográfica.	Identificar drenajes, cuencas y condiciones hidrográficas que influyen en la exploración y el planeamiento minero.

4.3.1.2 Componentes de la Geología Regional

La evaluación geológica regional integra un conjunto de elementos que permiten interpretar el contexto geológico del área de estudio e identificar los factores que controlan la ocurrencia de la mineralización. La **Tabla 4-3** presenta los principales componentes que deben analizarse durante esta etapa y su contribución a la evaluación geológica en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Tabla 4-3
Componentes de la geología regional

Componente	Descripción breve	Aplicación en pequeña minería
Litología regional	Identifica los tipos de roca presentes y su potencial metalogénico.	Permite anticipar el tipo de yacimiento (veta, disseminado) y su relación con el oro.
Marco estructural	Analiza fallas, lineamientos y pliegues que controlan el emplazamiento de vetas.	Ayuda a identificar sectores donde pueden concentrarse vetas o zonas de alteración.
Geomorfología regional	Estudia geoformas como cerros residuales, valles y escarpes.	Permite reconocer ambientes favorables para afloramientos de vetas.
Evolución geológica	Resume procesos tectónicos y magmáticos que dieron origen al oro.	Explica la continuidad, edad relativa y variabilidad del depósito.

4.3.1.3 Protocolo Práctico para Geología Regional

El protocolo presentado en la **Tabla 4-4** describe la secuencia recomendada para desarrollar la evaluación geológica regional en proyectos de pequeña minería de oro de filón. Su aplicación facilita la recopilación e interpretación de la información

geológica disponible, la integración de los principales elementos del contexto regional y su verificación preliminar en campo, proporcionando una base técnica para orientar las etapas posteriores de exploración.

Tabla 4-4
Protocolo práctico para Geología Regional

Paso	Acción práctica
Paso 1. Descarga de información oficial	▪ Ingresar al portal del SGC, ANM e IGAC y descargar mapa geológico a escala 1:25.000 o más detallada ▪ Verificar año de publicación y versión vigente ▪ Obtener modelos digitales de elevación (MDE) y catastro minero.
Paso 2. Superposición del polígono minero	▪ Cargar el polígono del título minero en QGIS o ArcGIS ▪ Superponer cartografía geológica ▪ Añadir capas de relieve y drenajes ▪ Incorporar lineamientos estructurales regionales (fallas, fracturas).
Paso 3. Identificación preliminar	▪ Determinar unidades litológicas dominantes (ej. intrusivas, metasedimentarias) ▪ Identificar estructuras mayores (fallas regionales, sistemas de fracturas) ▪ Reconocer geoformas relacionadas con estructuras: escarpes, alineamientos topográficos, cambios de pendiente.
Paso 4. Interpretación técnica inicial	Preguntas clave: ▪ ¿Existen contactos litológicos favorables para vetas? ▪ ¿Las estructuras (fallas, fracturas) condicionan la concentración del mineral? ▪ ¿Los alineamientos y escarpes reflejan controles estructurales profundos?
Paso 5. Validación rápida en campo (reconocimiento preliminar)	▪ Verificar que la unidad cartografiada corresponde a lo observado ▪ Confirmar presencia de vetas de cuarzo y zonas de alteración hidrotermal ▪ Registrar evidencia fotográfica georreferenciada ▪ Evaluar coherencia entre mapas y observaciones directas.

4.3.1.4 Herramientas y Ejemplo de Aplicación

Con el propósito de facilitar la aplicación de la evaluación geológica regional, esta sección presenta una herramienta metodológica y un ejemplo práctico. La matriz de priorización regional permite organizar y comparar de manera sistemática la información geológica disponible para identificar sectores con mayor potencial aurífero, mientras que el ejemplo de aplicación ilustra su utilización mediante la integración de información cartográfica y estructural.

Matriz de priorización regional

La Matriz de Priorización Regional (Tabla 4-5) es una herramienta de apoyo para la evaluación geológica regional que permite organizar y analizar de forma sistemática la información geológica, estructural y de mineralización de los diferentes sectores del área de estudio. Su aplicación facilita la comparación objetiva entre sectores y la priori-

zación de áreas con mayor potencial para las actividades de exploración.

Cada sector se evalúa considerando los siguientes criterios técnicos:

- Tipo de roca huésped: identifica la litología predominante y su capacidad para albergar mineralización aurífera.
- Control estructural: evalúa la presencia de fallas, fracturas, contactos litológicos u otras estructuras que favorecen el emplazamiento de la mineralización.
- Evidencias de mineralización: registra la presencia de vetas de cuarzo, sulfuros, alteración hidrotermal u otros indicios asociados a sistemas mineralizados.
- Potencial aurífero: integra los criterios anteriores para clasificar cada sector según su potencial de interés para la exploración (alto, medio o bajo).

Tabla 4-5
Matriz de priorización regional

Sector	Tipo de Roca Huésped	Control Estructural	Evidencia de Mineralización	Potencial Aurífero
Sector A	Granodiorita	Falla de cizalla	Vetas de cuarzo, pirita	Alto
Sector B	Esquistos	Contacto litológico	Alteración sericítica	Medio
Sector C	Calizas	Sin estructuras	Sin indicios	Bajo
Sector D				

La matriz constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones durante las etapas iniciales de exploración, al proporcionar un criterio objetivo para priorizar los sectores donde se concentrarán los recursos técnicos y económicos. Por ejemplo, un sector que presente litologías favorables, controles estructurales bien definidos y evidencias de mineralización podrá clasificarse con un alto potencial aurífero, mientras que aquellos donde estos elementos estén ausentes o sean poco favorables se considerarán de menor prioridad para la exploración.

Ejemplo de aplicación de buenas prácticas

En un proyecto de pequeña minería de oro de filón, la cartografía geológica regional a escala 1:25.000 identifica un cuerpo intrusivo de granodiorita emplazado en unidades de esquistos metamórficos. El análisis estructural evidencia una falla con orientación noreste, asociada al emplazamiento de vetas de cuarzo mineralizadas. De manera complementaria, el análisis geomorfológico permite reconocer escarpes y afloramientos donde dichas vetas se exponen en superficie.

La integración de esta información permite priorizar las actividades de exploración en los sectores donde convergen contactos litológicos favorables, estructuras mineralizantes y evidencias superficiales de mineralización, optimizando el uso de los recursos técnicos y económicos disponibles.

Lista de Chequeo – Geología Regional

La siguiente lista de verificación permite confirmar que la evaluación geológica regional dispone de la información mínima requerida antes de avanzar hacia la geología local. El cumplimiento de estos criterios contribuye a reducir la incertidumbre técnica y proporciona una base confiable para las etapas posteriores de evaluación del yacimiento.

Antes de concluir la evaluación geológica regional, verificar que se cuenta con:

- Cartografía geológica y topográfica oficial descargada y verificada.
- Unidades litológicas y rocas huésped favorables identificadas.
- Estructuras regionales (fallas, cizallas) que controlan la mineralización reconocida.
- Geoformas asociadas al yacimiento identificadas.
- Indicios de alteración hidrotermal o mineralización en superficie identificados.
- Reconocimiento geológico preliminar en campo realizado y documentado con fotografías georreferenciadas.
- Fuentes y fecha documentadas.



4.3.1.5 Recomendaciones

La **Tabla 4-6** presenta los principales lineamientos operativos para el desarrollo de la evaluación geológica regional. Su aplicación contribuye a fortalecer la calidad técnica de la información utilizada durante el planeamiento minero y a mejorar la trazabilidad de las decisiones adoptadas.



Tabla 4-6
Lineamientos operativos 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)	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 y realidad observada	Reducir incertidumbre por diferencias de escala	Registro fotográfico georreferenciado y notas de campo	Interpretaciones erróneas de la geometría de la veta
Relacionar siempre la litología con el tipo de yacimiento de oro de filón esperado	Anticipar continuidad y comportamiento del mineral.	Matriz litología – mineral esperado.	Selección inadecuada de sectores de explotación.
Integrar litología, estructura y geomorfología antes de priorizar áreas	Evitar análisis parciales o sesgados.	Matriz integrada de información geológica regional.	Sobreestimación de continuidad o calidad.
Justificar técnicamente la selección de zonas priorizadas	Sustentar decisiones de planeamiento minero.	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 oficiales.
Conservar respaldo digital organizado de la cartografía utilizada	Asegurar disponibilidad futura de información.	Carpeta digital estructura da (GDB o similar).	Pérdida de información técnica clave.
Incorporar registro fotográfico georreferenciado como evidencia	Validar interpretación geológica con pruebas objetivas.	Fotografías con coordenadas y fecha.	Dificultad para sustentar interpretación.

4.3.2 Geología Local

La geología local comprende la evaluación detallada del yacimiento dentro del área del proyecto mediante levantamientos geológicos de detalle y observaciones de campo, generalmente a escalas iguales o mayores a 1:1.000. Su propósito es caracterizar el cuerpo mineralizado, definir su geometría y continuidad, identificar las alteraciones hidrotermales asociadas y establecer las condiciones geológicas que sustentan la evaluación del yacimiento.

A diferencia de la geología regional, que proporciona el contexto geológico del área de estudio, la geología local se concentra en la caracterización de las unidades litológicas, la descripción de las estructuras geológicas, el levantamiento de perfiles de veta y el análisis de los controles que influyen en la geometría, continuidad y distribución de la mineralización.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, la geología local permite:

- Delimitar el cuerpo mineralizado con mayor precisión.
- Definir las zonas prioritarias para el muestreo y la exploración.
- Identificar sectores con mayor potencial de mineralización.
- Proporcionar la información técnica necesaria para la evaluación preliminar de recursos minerales.

La **Figura 4-3** presenta la secuencia metodológica propuesta para el desarrollo de la geología local.



Figura 4-3
Proceso metodológico en geología local



4.3.2.1 Alcance en proyectos de pequeña minería

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, la evaluación geológica local debe:

- Desarrollarse a escala 1:1.000 o en escalas de mayor detalle, de acuerdo con las características del yacimiento.
- Basarse en el levantamiento geológico directo de frentes de explotación, labores mineras y afloramientos.
- Registrar las unidades litológicas, las alteraciones hidrotermales y las estructuras geológicas observables.
- Elaborar perfiles geológicos y secciones representativas de las vetas mineralizadas.
- Integrar la información litológica, geomorfológica y estructural, incluyendo la orientación (rumbo) y la inclinación (buzamiento) de las estructuras.

En esta etapa no se requiere un modelamiento geológico tridimensional avanzado; sin embargo, es indispensable realizar un levantamiento geológico sistemático, documentado y técnicamente sustentado.

4.3.2.2 Componentes de la geología local

La evaluación geológica local integra un conjunto de elementos que permiten caracterizar el yacimiento a escala de detalle y comprender las condiciones geológicas que controlan la mineralización. La **Tabla 4-7** presenta los principales componentes que deben analizarse durante esta etapa y su aporte a la evaluación del yacimiento.





Tabla 4-7

Componentes geología local

Componente	Descripción breve	Aplicación en pequeña minería
Levantamiento geológico local	Registro detallado de unidades y estructuras en campo.	Permite delimitar la veta y reconocer variaciones de espesor.
Litología y alteración	Descripción de la roca encajante, veta y cambios químicos (silicificación).	Evalúa la competencia de la roca y sirve como visual para localizar zonas ricas en oro.
Estructuras locales	Registro de fallas, fracturas, estructuras observables y medición de rumbo/buzamiento.	Explica cambios abruptos en la veta o desplazamientos.
Perfiles de veta	Elaboración de secciones transversales detalladas.	Permite evaluar la continuidad vertical y horizontal del espesor.
Integración geomorfológica local	Identificación de geoformas asociadas a yacimientos de oro.	Permite diferenciar zonas estables y retrabajadas.

4.3.2.3 Protocolo práctico para geología local

El protocolo presentado en la **Tabla 4-8** describe la secuencia recomendada para desarrollar la evaluación geológica local del yacimiento. Su aplicación facilita la planificación del levantamiento geológico, la recopilación sistemática de

la información de campo y la delimitación preliminar del cuerpo mineralizado, proporcionando una base técnica para las etapas posteriores de exploración, modelamiento geológico y estimación de recursos minerales.

Tabla 4-8

Protocolo práctico para Geología Local

Paso	Acción práctica
Paso 1. Planificación del levantamiento	▪ Definir sectores priorizados desde geología regional ▪ Preparar base cartográfica a escala 1:1.000 ▪ Cargar polígono del proyecto en GPS o dispositivo móvil
Paso 2. Reconocimiento sistemático en campo	▪ Recorrer el área delimitada ▪ Identificar cambios visibles en litología y alteración ▪ Marcar puntos representativos (afloramientos, frentes, cortes)
Paso 3. Registro de unidades litológicas y estructurales	▪ Describir tipo de roca encajante y veta ▪ Registrar alteraciones hidrotermales (silicificación, sericitización) ▪ Medir rumbo y buzamiento de vetas ▪ Identificar fallas o fracturas locales
Paso 4. Elaboración de perfiles de veta	▪ Seleccionar cortes naturales o frentes seguros ▪ Medir espesor de la veta ▪ Registrar continuidad lateral y vertical ▪ Identificar desplazamientos o cambios de espesor



Paso 5. Georreferenciación y evidencia	Registrar coordenadas precisas de cada punto Tomar fotografías con escala visible Codificar puntos y perfiles
Paso 6. Delimitación preliminar del depósito	Integrar mapa + perfiles + observación directa Dibujar límites laterales y verticales preliminares Evaluar coherencia entre datos de campo y cartografía

4.3.2.4 Herramientas y Ejemplo de Aplicación

Con el propósito de facilitar la recopilación y organización de la información geológica de detalle, esta sección presenta una herramienta metodológica y un ejemplo práctico de aplicación. El formato básico de registro de punto geológico permite documentar de manera estandarizada las observaciones realizadas durante el levantamiento de campo, mientras que el ejemplo de aplicación ilustra su utilización para sustentar la interpretación geológica y orientar las decisiones de exploración y evaluación del yacimiento.

Formato básico de registro de punto geológico

El Formato Básico de Registro de Punto Geológico (**Tabla 4-9**) constituye una herramienta para documentar de manera sistemática la información obtenida durante los levantamientos geológicos de campo. Su aplicación facilita el registro uniforme de las características litológicas, estructurales y de mineralización observadas en cada punto, asegurando la trazabilidad de la información y su integración en la caracterización del yacimiento y el desarrollo del modelo geológico.

Tabla 4-9

Formato básico para el registro de información geológica local

Punto	Coordenada	Litología encajante (Tipo de roca)	Características de la mineralización	Alteración observada	Espesor visible	Observación
GL-01	5.1234 N / -73.4567 W	Esquistos metamórficos	Veta de cuarzo con pirita	Sericitización moderada	0,8 m	Veta continua, rumbo N30E, buzamiento 65SE
GL-02	...	Granodiorita	Veta de cuarzo con óxidos de hierro	Silicificación intensa	1,2 m	Desplazamiento de 1,5 m por falla transversal
GL-03	...	Calizas	Sin vetas visibles	Sin alteración	—	Sector estéril, descartado para exploración
GL-04	...	...	...	...	...	...

Descripción de los campos del formato

Los campos incluidos en el formato de registro permiten documentar de manera uniforme la información obtenida durante el levantamiento geológico local y facilitar su integración en la caracterización del yacimiento.



70

- Punto: código único asignado a cada estación de observación para garantizar la trazabilidad de la información de campo.
- Coordenadas: ubicación geográfica obtenida mediante receptor GNSS, GPS u otro dispositivo de posicionamiento, que permite localizar nuevamente el punto de observación.
- Litología encajante: unidad litológica que alberga la mineralización y sirve de referencia para la interpretación geológica.
- Características de la mineralización: descripción de la mineralización observada, incluyendo composición, textura, tipo de veta o vetillas y minerales asociados.
- Alteración observada: registro de las alteraciones hidrotermales presentes, tales como silicificación, sericitización, cloritización u otras.
- Espesor visible: espesor medido directamente sobre la exposición mineralizada, evitando estimaciones visuales sin respaldo de campo.
- Observaciones: información complementaria relacionada con la continuidad de la mineralización, controles estructurales, desplazamientos, calidad de la exposición u otros aspectos relevantes.

El formato presentado constituye una herramienta de apoyo para estandarizar el registro de la información geológica de campo. Su utilización favorece la trazabilidad de los datos, facilita su posterior análisis y contribuye a mejorar la calidad de la caracterización geológica del yacimiento.

Ejemplo de aplicación de buenas prácticas

Durante el levantamiento geológico local de un proyecto de pequeña minería de oro de filón se registra un punto de observación sobre una veta de cuarzo con piritita de 0,8 m de espesor, alojada en esquistos metamórficos con alteración sericitica. Las mediciones estructurales indican un rumbo N30E y un buzamiento de 65° hacia el sureste, mientras que la presencia de una falla transversal evidencia un desplazamiento aproximado de 1,5 m de la veta.

La integración de esta información permite reinterpretar la continuidad del cuerpo mineralizado y ajustar la dirección de las labores de desarrollo, disminuyendo el avance en roca estéril y optimizando la recuperación del mineral.

Lista de chequeo – Geología Local

La siguiente lista de verificación permite confirmar que el levantamiento geológico local cuenta con la información mínima necesaria para sustentar la caracterización del yacimiento y avanzar hacia las etapas de evaluación geológica y estimación preliminar de recursos minerales.

Antes de concluir la evaluación geológica local, verificar que se cuenta con:

- Levantamiento geológico realizado a escala 1:1.000 o de mayor detalle, según las características del yacimiento.
- Puntos de observación georreferenciados y debidamente registrados.
- Unidades litológicas y alteraciones hidrotermales identificadas y documentadas.
- Medidas estructurales (rumbo y buzamiento) registradas en los principales cuerpos mineralizados.
- Perfiles geológicos y secciones de veta elaborados.
- Espesores de las vetas medidos directamente en campo y registrados.
- Registro fotográfico georreferenciado con escala y descripción de las observaciones.
- Delimitación preliminar del cuerpo mineralizado representada en planos o mapas geológicos.
- Información de campo organizada y respaldada en formato físico y/o digital.



4.3.2.5 Recomendaciones

La **Tabla 4-10** resume las acciones técnicas necesarias para asegurar que la caracterización geológica del yacimiento sea precisa, coherente y trazable, reduciendo riesgos de interpretación y fortaleciendo el planeamiento minero.

Tabla 4-10

Lineamientos operativos para la geología local

Acción técnica recomendada	Objetivo técnico	Evidencia o soporte requerido	Riesgo si no se implementa
Realizar levantamiento a escala $\geq 1:1.000$	Garantizar detalle adecuado	Plano base con escala definida.	Información insuficiente.
Levantar información directamente en los frentes de trabajo activos	Obtener datos reales y actualizados de la veta	Registro de campo con ubicación y descripción	Uso de información incompleta o desactualizada.
Ubicar con precisión cada punto observado mediante GPS o topografía	Garantizar exactitud espacial de los datos	Coordenadas GPS o levantamiento topográfico.	Dificultad para correlacionar perfiles y mapas.
Describir detalladamente la textura de la veta y la mineralogía asociada	Reconocer variaciones internas y minerales acompañantes	Fichas descriptivas y fotografías de campo.	Interpretaciones geológicas superficiales o erróneas.
Elaborar perfiles en sitios representativos para visualizar cambios de espesor	Identificar variaciones de potencia (espesor) de la veta	Perfiles geológicos con medidas de espesor.	No detectar acuífamientos o cambios bruscos.
Integrar mapa local con perfiles y observación directa	Construir una visión coherente del yacimiento	Mapa geológico local con perfiles correlacionados.	Análisis fragmentado y poco confiable.
Documentar puntos de control y fotografías georreferenciadas	Asegurar trazabilidad y respaldo técnico	Fotografías con coordenadas y fecha.	Falta de evidencia ante auditorías, revisiones o fiscalización.

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

La exploración directa y el muestreo constituyen las principales actividades para obtener información representativa del yacimiento y sustentar la evaluación geológica. Su desarrollo debe complementarse con procedimientos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC), orientados a garantizar que las muestras y los resultados analíticos sean confiables, trazables y técnicamente verificables.

El aseguramiento de la calidad (Quality Assurance, QA) comprende las actividades planificadas para prevenir errores durante el proceso de muestreo, transporte, preparación y análisis de las muestras. Por su parte, el control de la calidad (Quality Control, QC) incluye las verificaciones destinadas a evaluar la precisión y exactitud de los resultados mediante el uso de materiales de referencia, blancos y muestras duplicadas.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, esta etapa permite:

- Obtener muestras representativas del yacimiento.
- Validar la información geológica obtenida durante las etapas previas.
- Confirmar la continuidad y variabilidad de la mineralización.
- Garantizar la trazabilidad y confiabilidad de los resultados analíticos.

La **Figura 4-4** presenta la secuencia metodológica propuesta para la exploración directa, el muestreo y la implementación de procedimientos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC).

Figura 4-4
Proceso de exploración y muestreo (QA/QC)

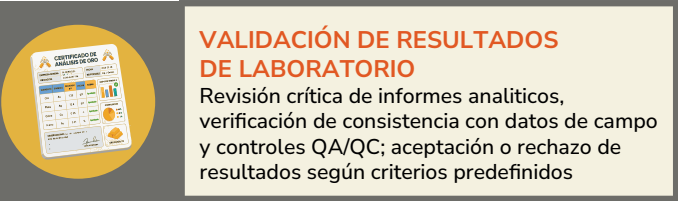


4.3.3.1 Alcance en pequeña minería

- En pequeña minería, este componente debe:
- Basarse en observaciones y registros sistemáticos en frentes de mina y afloramientos.
- Diseñar un muestreo representativo y sistemático de la veta.
- Medir espesores reales y continuidad de la mineralización.
- Integrar controles QA/QC en cada lote de muestras para asegurar confiabilidad.
- Garantizar trazabilidad desde el frente hasta el laboratorio.
- El enfoque debe ser práctico, documentado y coherente con la escala del proyecto.

La **Tabla 4-11** presenta una de las principales referencias técnicas disponibles para orientar este proceso.

Fuentes oficiales recomendadas	Guía de Buenas Prácticas de Rocas y Minerales Industriales (GBPMI): Esta guía busca mejorar la calidad de las actividades mineras y la precisión de los datos obtenidos en los proyectos de minería en Colombia.
	https://www.anm.gov.co/sites/default/files/2024-06-25-Guia-Buenas-Practicas-rocas-minerales-industriales.pdf



4.3.3.2 Componentes de la Exploración Directa y Muestreo

A continuación, en la **Tabla 4-11**, se presentan los elementos que deben integrarse para asegurar confiabilidad en la información del yacimiento.

Tabla 4-11
Componentes para la exploración directa y muestreo

Componente	Descripción breve	Aplicación en pequeña minería
Exploración directa	Apertura de trincheras, apiques o calicatas en sectores representativos.	Reconocer geometría de vetas y contactos litológicos.
Muestreo sistemático	Registro de muestras físicas y mineralógicas.	Evaluar continuidad, variabilidad y calidad del oro.
QA/QC en campo	Protocolos de muestreo, etiquetado y cadena de custodia.	Garantizar representatividad y trazabilidad de datos.
QA/QC en laboratorio	Ensayos con estándares, blancos y duplicados.	Verificar precisión y exactitud de resultados analíticos.
Modelo integrado	Síntesis de exploración + muestreo + QA/QC.	Sustentar estimación preliminar de recursos y explotación selectiva.

4.3.3.3 Protocolo práctico para exploración, muestreo y QA/QC

Este protocolo práctico organiza la ejecución técnica de la exploración directa y el muestreo en campo. Su objetivo es garantizar representatividad, trazabilidad y control básico de calidad (QA/QC) antes de la validación en laboratorio. La Tabla 412 resume los pasos esenciales para asegurar que la información obtenida en campo sea confiable y útil para las siguientes etapas del estudio.

Tabla 4-12
Protocolo práctico para exploración directa y muestreo

Paso	Acción práctica
Paso 1. Planificación	- Definir sectores priorizados desde geología local - Preparar base cartográfica a escala $\geq 1:1.000$ - Diseñar protocolo de muestreo y QA/QC
Paso 2. Exploración directa	- Abrir trincheras o apiques en sitios seguros - Registrar contactos litológicos y estructuras - Medir espesores reales de vetas
Paso 3. Muestreo sistemático	- Tomar muestras compuestas en intervalos regulares - Codificar y georreferenciar cada muestra - Documentar mineralogía y alteraciones
Paso 4. QA/QC en campo	- Etiquetar con códigos únicos - Garantizar cadena de custodia - Incluir duplicados de campo (5–10%)





Paso 5. QA/QC en laboratorio	▪ Insertar estándares certificados (3–5%) ▪ Incluir blancos estériles (2–3%) ▪ Repetir análisis de duplicados (5%)
Paso 6. Integración de resultados	▪ Unir mapa + perfiles + registros analíticos ▪ Validar coherencia entre campo y laboratorio ▪ Construir modelo preliminar confiable

Fuente: El estudio

4.3.3.4 Herramientas y ejemplo de aplicación

Las herramientas de control permiten asegurar orden y trazabilidad en campo. A continuación, se presentan formatos prácticos que facilitan la evaluación de calidad y el registro sistemático de muestras.

Formato de evaluación QA/QC

La **Tabla 413** permite evaluar la calidad de los datos de muestreo y clasificar los lotes según su nivel de cumplimiento QA/QC.

Tabla 4-13
Formato de evaluación QA/QC

Lote de muestras	Cumplimiento QA/QC	Controles incluidos	Nivel de confiabilidad
Lote A (100 muestras)	Completo (13%)	5 estándares, 3 blancos, 5 duplicados	Alto
Lote B (80 muestras)	Parcial (5%)	2 estándares, 1 blanco, 1 duplicado	Medio
Lote C (50 muestras)	Deficiente (<3%)	Sin controles suficientes	Bajo

¿Qué significa cada columna?

- Cumplimiento QA/QC: porcentaje de controles incluidos respecto al total de muestras.
- Controles incluidos: número y tipo de estándares, blancos y duplicados.
- Nivel de confiabilidad: clasificación del lote (alto, medio, bajo) según cumplimiento.

Formato de Control de Muestreo:

La **Tabla 4-14** organiza la información mínima de cada muestra, asegurando trazabilidad y evitando errores de identificación.

Tabla 4-14
Formato de control de muestreo

Código Muestra	Coordenadas X, Y, Z)	Espesor Canal (m)	Tipo de Mineralización	Observación Geológica	QA/QC (Duplicado/Blanco/ Estándar)
AU-001	X: 123456, Y: 789012, Z: 1500	0.75	Cuarzo-pirita	Veta continua, alteración sericítica	No
AU-002	X: 123456, Y: 789012, Z: 1500	0.75	Cuarzo-pirita	Veta continua, alteración sericítica	Duplicado de AU-001
AU-003	X: 123470, Y: 789020, Z: 1480	0.40	Brecha hidrotermal	Zona de falla, óxidos de Fe	No
AU-004	N/A	N/A	Estéril	Material de roca encajante	Blanco
AU-005	N/A	N/A	Estándar	Material con 10 g/t Au	Estándar

Este formato no es un requisito normativo, sino una herramienta práctica que evita errores de identificación y mejora la confiabilidad.

Ejemplo de aplicación

En un lote de 100 muestras de oro de filón, se incluyen 5 estándares certificados, 3 blancos de roca estéril y 5 duplicados de campo y laboratorio. Esto representa un 13% de controles QA/QC, dentro del rango recomendado por ANM–CCRR®. Los resultados muestran que las zonas con cuarzo gris y sulfuros mantienen leyes superiores a 10 g/t, confirmando la confiabilidad de los datos y permitiendo priorizar la explotación en la zona principal del yacimiento.

Lista de chequeo – Exploración directa y muestreo

Esta lista permite verificar que el proceso de exploración y muestreo fue realizado de manera técnica y documentada antes de utilizar los resultados para estimación preliminar.

Antes de integrar resultados al modelo geológico, verificar:

- Frentes de muestreo limpios y seguros.
- Canales de muestreo marcados y tomados perpendicularmente a la veta.
- Muestras representativas recolectadas (peso adecuado).
- Todas las muestras rotuladas con código único, coordenadas, espesor y fecha.
- Duplicados de campo, blancos y estándares insertados sistemáticamente.
- Cadena de custodia documentada para el transporte de muestras.
- Resultados de laboratorio comparados con observaciones de campo.

4.3.3.5 Recomendaciones

La aplicación de buenas prácticas en pequeña minería de oro requiere integrar procedimientos de exploración con controles de calidad (QA/QC) que garanticen la confiabilidad de los datos. La Tabla 4-15 presenta lineamientos básicos orientados a fortalecer la trazabilidad, reducir errores y asegurar que la información generada sea útil para la toma de decisiones mineras.

Tabla 415
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

4.3.4 Caracterización del yacimiento aurífero

La caracterización del yacimiento aurífero integra la información geológica, estructural, mineralógica y física obtenida durante las etapas de exploración y evaluación geológica, con el propósito de definir la geometría, continuidad y variabilidad del cuerpo mineralizado. Esta etapa proporciona los elementos necesarios para comprender la distribución de la mineralización, identificar los controles geológicos del yacimiento y sustentar la evaluación preliminar de recursos minerales.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, la caracterización del yacimiento permite:

Delimitar el cuerpo mineralizado con mayor nivel de confianza.

Identificar sectores homogéneos y zonas de enriquecimiento mineral (clavos mineralizados).

Evaluar la distribución de las leyes y las principales características mineralógicas del depósito.

Determinar propiedades físicas relevantes para el planeamiento minero, como la densidad del mineral y de la roca encajante.



Proporcionar la información técnica necesaria para la evaluación preliminar de recursos minerales y la selección del método de explotación.

El nivel de detalle requerido debe ser consistente con la escala del proyecto y proporcionar información suficiente, verificable y técnicamente sustentada para apoyar las decisiones de planeamiento minero.

La **Figura 4-5** presenta la secuencia metodológica propuesta para la caracterización del yacimiento aurífero.

Figura 45

Proceso de caracterización del yacimiento



77

4.3.4.1 Alcance en proyectos de pequeña minería

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, la caracterización del yacimiento debe:

- Desarrollarse a escala 1:1.000 o en escalas de mayor detalle, según las características del depósito.
- Basarse en observaciones geológicas directas y mediciones representativas del cuerpo mineralizado.
- Definir la geometría y los límites laterales y verticales de la mineralización.
- Caracterizar el espesor, la continuidad, la mineralogía y la distribución de la mineralización.
- Determinar propiedades físicas básicas del yacimiento, como la densidad del mineral y de la roca encajante.

En esta etapa no se requiere un modelamiento geológico tridimensional avanzado; sin embargo, es indispensable integrar de manera sistemática la información geológica, estructural, mineralógica y física obtenida durante la exploración.

4.3.4.2 Componentes de la caracterización del yacimiento

La caracterización del yacimiento integra un conjunto de elementos que permiten definir la geometría, continuidad, variabilidad y principales características de la mineralización. La **Tabla 4-16** presenta los componentes que deben evaluarse durante esta etapa y su contribución a la caracterización del depósito y a la evaluación preliminar de recursos minerales.



Tabla 4-16

Componentes y variables técnicas en la caracterización del depósito

Componente	Descripción breve	Aplicación en pequeña minería
Geometría y Límites	Definición de límites de la veta (techo, piso, espesor).	Permite calcular volúmenes preliminares y delimitar zonas explotables.
Mineralogía y Texturas	Descripción de bandas, sulfuros y oro visible.	Identifica niveles de alta ley y determina el método de beneficio.
Propiedades Físicas	Evaluación de densidad, dureza y humedad del mineral.	Permite diferenciar material apto para molienda y calcular tonelaje.
Modelo Integrado	Síntesis de geometría + calidad + mineralogía.	Sustenta decisiones de muestreo y explotación selectiva.

4.3.4.3 Protocolo práctico para la caracterización del yacimiento

El protocolo presentado en la **Tabla 4-17** describe la secuencia recomendada para desarrollar la caracterización del yacimiento aurífero mediante la integración de la información geológica, estructural, mineralógica y física obtenida durante las etapas previas de evaluación. Su aplicación facilita

la delimitación del cuerpo mineralizado, la caracterización de su geometría, continuidad y distribución de la mineralización, así como la organización sistemática de la información que servirá de base para la evaluación preliminar de recursos minerales y el planeamiento de la explotación.

Tabla 4-17

Protocolo práctico para caracterizar el yacimiento

Paso	Acción práctica
Paso 1. Confirmar límites preliminares	- Usar información de geología local para dibujar el contorno del yacimiento en plano - Definir techo y piso de la veta.
Paso 2. Medir espesores reales	- Tomar mediciones en perfiles representativos - Evitar extrapolaciones sin evidencia directa.
Paso 3. Identificar variaciones internas	- Diferenciar zonas de alta ley (clavos) y bordes de baja ley - Registrar cambios en mineralogía y texturas.
Paso 4. Evaluar propiedades físicas	- Medir densidad y dureza básica del mineral - Registrar humedad o condiciones que afecten beneficio - Caracterizar zonas de alteración hidrotermal.
Paso 5. Integrar información	- Unir mapa + perfiles + registros físicos - Construir un modelo preliminar coherente del yacimiento.

4.3.4.4 Herramientas y ejemplo de aplicación

Con el propósito de facilitar la evaluación de la información obtenida durante la caracterización del yacimiento, esta sección presenta una herramienta metodológica y un ejemplo práctico de aplicación. La matriz de evaluación del yacimiento permite organizar y analizar de manera sistemática los principales parámetros geológicos, estructurales, mineralógicos y físicos del depósito, proporcionando criterios técnicos para apoyar la evaluación preliminar del yacimiento y la planificación de las actividades de exploración y explotación.

Matriz simple de evaluación del yacimiento

La Matriz Simple de Evaluación del Yacimiento (Tabla 4-18) constituye una herramienta de apoyo para integrar los principales parámetros técnicos del depósito y valorar, de manera cualitativa, las condiciones que favorecen su aprovechamiento. Su aplicación facilita la comparación entre diferentes sectores del yacimiento, la identificación de áreas con mayor potencial y la priorización de las actividades de evaluación y desarrollo minero.

Tabla 4-18
Matriz simple de evaluación del yacimiento

Sector	Espesor promedio	Continuidad	Mineralogía	Ley de oro promedio (g/t)	Potencial de explotación
Zona Principal	0.8 - 1,2 m	Alta	Cuarzo gris con sulfuros abundantes.	> 10	Alto
Zona de Fallas	0.3 - 0,7 m	Media	Cuarzo blanco con pirita dispersa.	5 - 10	Medio
Zona Periférica	< 0,3 m	Baja	Cuarzo blanco sin sulfuros.	< 5	Bajo

Descripción de los campos de la matriz

- **Espesor promedio:** medición real del espesor de la veta. Espesores mayores representan mayor volumen explotable.
- **Continuidad:** grado de uniformidad lateral y vertical de la veta.
- **Mineralogía:** presencia de oro visible, sulfuros asociados o texturas que indican alta ley.
- **Ley de oro promedio:** cantidad de oro por tonelada; mayor ley incrementa la viabilidad económica cuando se acompaña de espesor y continuidad adecuados.
- **Potencial de explotación:** resultado integrado de espesor + continuidad + mineralogía.

Ejemplo de aplicación de buenas prácticas

En una veta de oro, se identifican espesores variables entre 0.4 y 1.2 metros. A partir de perfiles se reconoce un nivel central con cuarzo gris y sulfuros abundantes (alta ley) y bordes con cuarzo blanco (baja ley). El análisis de densidad arroja 2.8 t/m³. Con esta información, se define como zona prioritaria de extracción el sector de cuarzo gris, optimizando la recuperación del mineral estratégico.

Lista de chequeo – Caracterización del yacimiento aurífero

La siguiente lista de verificación permite confirmar que la caracterización del yacimiento cuenta con la información técnica mínima necesaria para sus-



tentar la evaluación geológica y avanzar hacia la construcción del modelo geológico y la estimación preliminar de recursos minerales.

Antes de concluir la caracterización del yacimiento, verificar que se cuenta con:

- ☐ Geometría del cuerpo mineralizado definida (rumbo, buzamiento, espesor y continuidad).
- ☐ Litología encajante, mineralogía y características de la mineralización debidamente documentadas.
- ☐ Alteraciones hidrotermales identificadas y cartografiadas.
- ☐ Propiedades físicas relevantes del yacimiento (densidad del mineral y de la roca encajante) determinadas.

- ☐ Controles estructurales que condicionan la mineralización identificados y documentados.
- ☐ Perfiles geológicos y secciones representativas actualizados.
- ☐ Registro fotográfico georreferenciado y asociado a los puntos de observación.
- ☐ Información geológica organizada y respaldada para su integración al modelo geológico.

4.3.4.5 Recomendaciones

La **Tabla 4-19** presenta los principales lineamientos operativos para el desarrollo de la caracterización del yacimiento aurífero. Su aplicación contribuye a mejorar la calidad de la información geológica, fortalecer la trazabilidad de los datos y sustentar técnicamente las decisiones relacionadas con la evaluación del yacimiento y el planeamiento minero.

Tabla 4-19

Lineamientos técnicos aplicables

Acción recomendada	Objetivo técnico	Evidencia requerida	Riesgo si no se aplica
Delimitar claramente los contactos entre la veta y la roca encajante.	Definir con precisión los límites del mineral.	Mapas y perfiles con contactos marcados.	Confusión en la geometría y cálculo de volúmenes.
Registrar espesores reales y variaciones laterales de la veta	Identificar cambios de potencia y continuidad.	Perfiles geológicos con medidas de espesor.	Sobreestimación o subestimación de recursos.
Identificar la presencia de minerales indicadores (pirita, galena)	Reconocer asociaciones útiles para exploración y beneficio.	Fichas mineralógicas y fotografías de campo.	Pérdida de información sobre mineralización secundaria.
Evaluar la dureza del material para la selección de equipos de molienda	Anticipar comportamiento en beneficio y costos.	Ensayos de dureza y registros de laboratorio.	Selección inadecuada de equipos y baja eficiencia.
Sustentar técnicamente la estimación preliminar de volúmenes y calidad	Dar respaldo a la planificación minera.	Documento técnico con cálculos y criterios explícitos.	Observaciones en fiscalización.
Integrar información geológica con resultados preliminares de campo	Construir un modelo coherente y confiable.	Matriz de integración campo-laboratorio.	Interpretaciones parciales o inconsistentes.

4.3.5 Modelo geológico

El modelo geológico integra la información obtenida durante las etapas de geología regional, geología local, caracterización del yacimiento y exploración directa con muestreo, con el propósito de representar la geometría del cuerpo mineralizado, la distribución de la mineralización y los principales controles geológicos del depósito. Su construcción permite consolidar el conocimiento del yacimiento y constituye la base técnica para la evaluación preliminar de recursos minerales y el planeamiento de la explotación.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, el modelo geológico no pretende desarrollar representaciones tridimensionales de alta complejidad, sino integrar de manera coherente la información disponible para reducir la incertidumbre y apoyar la toma de decisiones técnicas.

El modelo geológico permite:

- Reducir la incertidumbre asociada al conocimiento del yacimiento.
- Delimitar los sectores con potencial de aprovechamiento.
- Identificar la distribución espacial de las leyes y de la mineralización.
- Sustentar la estimación preliminar de recursos minerales.
- Apoyar el diseño y la planificación de la explotación.

La **Figura 4-6** presenta la secuencia metodológica propuesta para la elaboración del modelo geológico del yacimiento.

Figura 4-6

Esquema del modelo geológico del yacimiento



4.3.5.1 Alcance en proyectos de pequeña minería

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, el modelo geológico debe:

- Integrar la información topográfica y geológica disponible, elaborada a escalas acordes con las características del proyecto.
- Representar la geometría y los límites laterales y verticales del cuerpo mineralizado.
- Correlacionar perfiles geológicos, secciones de veta y registros de campo.
- Incorporar los resultados de laboratorio, incluyendo leyes de oro y densidad del mineral.
- Definir los principales dominios geológicos y de mineralización.
- Proporcionar una base técnica para la estimación preliminar de recursos minerales y el planeamiento minero.

Aunque no requiere un modelamiento geológico tridimensional avanzado, el modelo debe integrar de manera consistente, verificable y documentada toda la información obtenida durante las etapas de evaluación geológica.

4.3.5.2 Componentes del modelo geológico

La elaboración del modelo geológico requiere integrar de manera sistemática la información geológica, estructural, topográfica y analítica obtenida durante las etapas previas de evaluación. La **Tabla 4-21** presenta los principales componentes que conforman el modelo geológico y su aporte a la representación del yacimiento y a la estimación preliminar de recursos minerales.

4.3.5.3 Protocolo práctico para construir el modelo

El protocolo presentado en la **Tabla 4-22** describe la secuencia recomendada para integrar de manera sistemática la información geológica, estructural, topográfica y analítica obtenida durante las etapas previas de evaluación. Su aplicación permite consolidar la representación del cuerpo mineralizado, definir su geometría, continuidad y distribución de la mineralización, y construir un modelo geológico consistente que sirva de base para la estimación preliminar de recursos minerales y el planeamiento de la explotación.

Tabla 4-21
Componentes integrados en el modelo geológico

Componente	Descripción breve	Aplicación en pequeña minería
Geometría de la Veta	Delimitación lateral y vertical; forma general del cuerpo mineralizado.	Permite calcular volúmenes preliminares y definir zonas explotables.
Organización Interna	Identificación de bandas, clavos, contactos y variaciones de espesor.	Permite reconocer sectores homogéneos y zonas de alta ley.
Atributos de Calidad	Integración de leyes de oro, densidad, dureza y mineralogía.	Permite diferenciar dominios de calidad y restricciones metalúrgicas.
Controles Estructurales	Influencia de fallas, diaclasas y zonas de cizalla.	Permite anticipar cambios de espesor, desplazamientos o heterogeneidad.
Modelo geológico Integrado	Síntesis de geometría + calidad + organización interna.	Base para estimación preliminar de recursos y planificación minera.



Tabla 4-22
Protocolo práctico para Modelo Geológico

Paso	Acción práctica
Paso 1. Consolidar información	Reunir perfiles de veta, puntos topográficos y resultados de laboratorio
Paso 2. Correlacionar secciones	Relacionar perfiles longitudinales y transversales para identificar continuidad
Paso 3. Definir límites geométricos	Delimitar techo y piso de la veta Dibujar contorno lateral y espesor promedio
Paso 4. Integrar calidad	Asignar leyes de oro y atributos físicos a cada sector
Paso 5. Identificar zonas homogéneas y variables	Diferenciar clavos de alta ley y sectores marginales
Paso 6. Modelo integrado	Unir geometría, organización interna y calidad en una interpretación coherente

Nota. Esta tabla resume los principales ámbitos de aplicación, su nivel de influencia y los resultados esperados en la operación.

Tabla 4-23
Modelo geológico en pequeña minería

Uso del modelo	Nivel de influencia	Resultado esperado
Estimación preliminar de recursos	Alta	Volumen explotable coherente y sustentado técnicamente
Planeamiento de labores subterráneas (galerías, chimeneas)	Alta	Secuencia lógica de explotación y mejor aprovechamiento de la veta
Selección de zonas prioritarias	Alta	Optimización operativa y reducción de costos
Soporte ante autoridad minera	Media – Alta	Sustentación técnica verificable y trazable
Gestión de riesgo técnico	Media	Reducción de incertidumbre geológica y estructural

4.3.5.4 Representación e interpretación del modelo geológico

El modelo geológico constituye una representación integrada del yacimiento que permite organizar e interpretar la información geológica obtenida durante las etapas previas de evaluación. Su finalidad es facilitar el análisis de la geometría del cuerpo mineralizado, la distribución de la mineralización, la variabilidad de las leyes y los principales controles geológicos, proporcionando criterios técnicos para apoyar el planeamiento de la explotación y la evaluación preliminar de recursos minerales.

La representación del modelo geológico integra mapas geológicos, perfiles longitudinales y transversales, secciones geológicas y la distribución espacial de las leyes de oro. Esta información permite visualizar la geometría del cuerpo mineralizado, su continuidad, los principales controles estructurales y las variaciones de la mineralización, facilitando la interpretación técnica del yacimiento.

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

Tabla 4-24
Ejemplo de Matriz de interpretación del modelo

Sector Evaluado	Geometría	Características geológicas	Leyes y mineralización	Interpretación técnica
Clavo Central	Espesor continuo 0.8–1.2 m	Cuarzo bandeoado con sulfuros	Alta (>15 g/t Au)	Sector homogéneo y prioritario.
Zona Lateral	Espesor variable 0.3–0.6 m	Cuarzo masivo blanco	Media (5–10 g/t Au)	Variabilidad moderada.
Zona de Falla	Discontinuo / Brechado (Fracturado)	Material triturado	Baja (<3 g/t Au)	Alta heterogeneidad/ Riesgo.

¿Qué significa cada columna?

Geometría: describe la forma, continuidad lateral y vertical, orientación y espesor del cuerpo mineralizado.

Características geológicas: resume las principales características litológicas, estructurales y mineralógicas observadas en cada sector del yacimiento.

Leyes y mineralización: integra los resultados analíticos de las muestras (leyes de oro), la distribución de la mineralización y otras características relevantes para la evaluación del depósito.

Interpretación técnica: presenta una valoración cualitativa del comportamiento geológico del sector y orienta la priorización de las actividades de exploración y explotación.

Interpretación aplicativa: una vez consolidada esta información, puede interpretarse visualmente mediante un esquema de clasificación de sectores, tipo “semáforo”, que facilite la toma de decisiones operativas.

Esquema de clasificación de sectores

Como herramienta complementaria de interpretación, los sectores del yacimiento pueden clasificarse mediante un esquema gráfico tipo semáforo, el cual facilita la identificación de áreas prioritarias para la explotación, zonas que requieren evaluación adicional y sectores con restricciones geológicas o económicas.

- Verde:** Sectores con adecuada continuidad geométrica, leyes favorables y condiciones geológicas que respaldan su priorización para la explotación.
- Amarillo:** Sectores con variabilidad moderada en la geometría o en las leyes, que requieren información adicional para reducir la incertidumbre.
- Rojo:** Sectores con baja continuidad, leyes desfavorables o condiciones geológicas que limitan su aprovechamiento y requieren replantear la estrategia de explotación.

Ejemplo de aplicación del semáforo técnico

Verde (Condiciones Adecuadas): si un sector de la veta presenta un espesor continuo (ej. mayor a 0.6 m), baja variabilidad estructural y leyes de oro constantes y favorables en el muestreo, se clasificaría como Verde. Esto indica que el sector tiene condiciones técnicas óptimas para iniciar o continuar la explotación con bajo riesgo geológico.

Amarillo (Atención/Control): si se detectan cambios abruptos en el espesor (acuñamientos), presencia de fallas menores que desplazan la veta o leyes de oro muy variables, el sector se clasifica como Amarillo. Esto sugiere la necesidad de realizar un muestreo más apretado o labores de exploración adicionales antes de avanzar con la explotación a gran escala.

Rojo (Restricción/Riesgo): si la veta desaparece por una falla mayor, el espesor es mínimo (no económico) o la roca encajante es muy inestable (mala calidad geotécnica), el sector se clasifica como Rojo. Esto indica que la explotación en esa zona debe detenerse o re-planificarse debido a altos riesgos técnicos o económicos.

La **Figura 4-7** Ejemplo esquema tipo “semáforo” modelo geológico ilustra cómo clasificar sectores de la veta según continuidad, ley y condiciones técnicas, diferenciando zonas prioritarias, de control y de restricción.

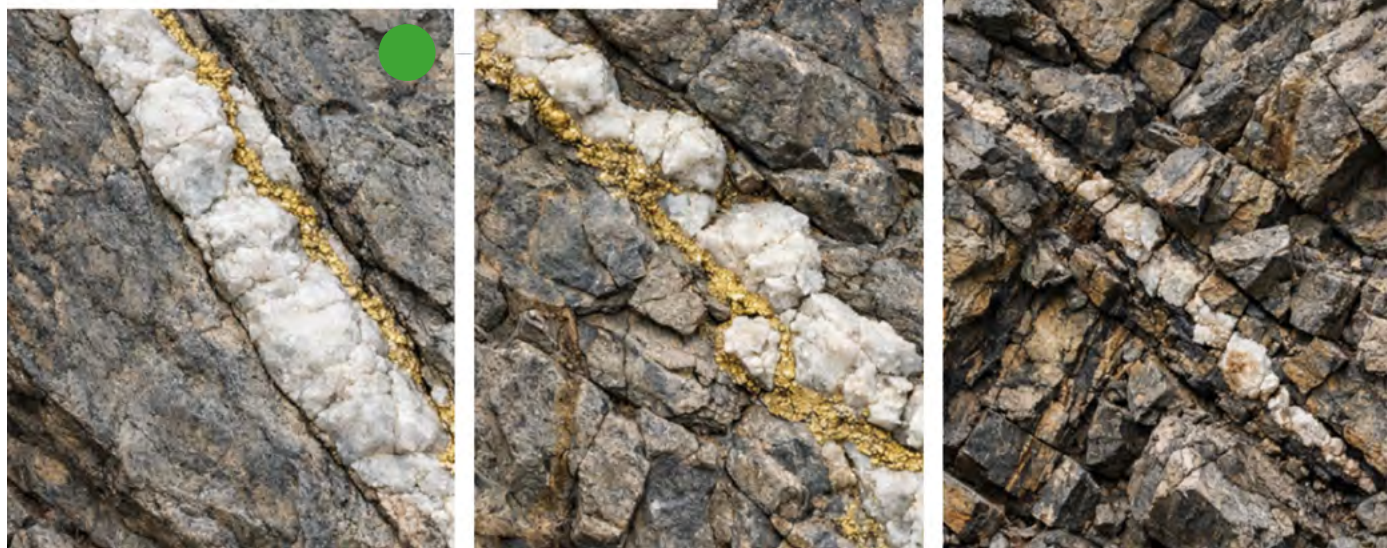
Lista de chequeo – Modelo Geológico

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

- ☐ Geometría tridimensional de la veta o cuerpo mineralizado definida.
- ☐ Distribución espacial de las leyes de oro representada.
- ☐ Controles estructurales y litológicos de la mineralización integrados en el modelo.
- ☐ Zonas de alteración hidrotermal mapeadas y relacionadas con la mineralización.
- ☐ Modelo conceptual del yacimiento desarrollado.
- ☐ Incertidumbres y limitaciones del modelo documentadas.

Figura 4-7

Ejemplo esquema tipo “semáforo” modelo Geológico





4.3.5.5 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 fundamen-

tal para la planificación minera en pequeña minería, (Decreto 1666, 2016).

4.3.5.6 Recomendaciones

La **Tabla 4-25** presenta los principales lineamientos operativos para la elaboración del modelo geológico del yacimiento. Su aplicación contribuye a garantizar la integración coherente de la información geológica, fortalecer la trazabilidad de los datos y proporcionar una base técnica sólida para la estimación preliminar de recursos minerales y el planeamiento de la explotación.

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 (campo + laboratorio)	Construir un modelo coherente y confiable.	Interpretación parcial o sesgada.
Correlacionar perfiles antes de definir geometría final	Garantizar continuidad real de la veta.	Error volumétrico en la estimación.
Diferenciar claramente dominios de calidad (alta, media, baja ley)	Control técnico de la explotación.	Mezcla inadecuada de mineral.
Representar contactos y superficies guía (techo/piso de la veta)	Visualizar límites reales del depósito.	Modelo simplificado en exceso.
Documentar criterios y supuestos de interpretación	Asegurar trazabilidad metodológica.	Observaciones en fiscalización.
Evitar extrapolaciones sin soporte de campo o muestreo	Reducir incertidumbre geológica.	Sobreestimación de recursos.
Identificar zonas de mayor incertidumbre estructural	Priorizar muestreo adicional.	Riesgo técnico no controlado.

4.3.6 Requerimientos técnicos en la formalización minera

Como complemento a los contenidos desarrollados en este capítulo, se presenta una síntesis del nivel de información geológica y de los productos técnicos mínimos esperados para los principales mecanismos de formalización minera. Su propósito es facilitar la aplicación de esta guía, proporcionando criterios de referencia para la preparación de la información técnica requerida en cada caso.

La **Tabla 4-26** compara el alcance de los productos geológicos y mineros asociados a los diferentes mecanismos de formalización minera, como complemento a los requisitos establecidos en la normatividad vigente. Esta información permite identificar el nivel mínimo de detalle esperado para la caracterización geológica, el modelo del yacimiento y los demás insumos técnicos necesarios para sustentar el planeamiento minero.

Tabla 4-26

Requerimientos técnicos y objetivos en la formalización minera

Figura de formalización	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 yacimiento, exploración directa y muestreo con QA/QC, modelo geológico, 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 yacimiento y sustentar la operación minera formalizada	Geología regional básica, geología local detallada, caracterización del yacimiento, exploración directa mediante apiques, trincheras o calicatas, 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 yacimiento, 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 yacimiento, verificación de espesores, muestreo básico.	Reconocer técnicamente el depósito que sustenta la actividad minera existente y facilitar su transición hacia la formalidad.





4.3.7 Estimación preliminar de recursos

La estimación preliminar de recursos minerales corresponde a la primera cuantificación técnica del material mineralizado identificado en el yacimiento de oro de filón, sustentada en la información geológica, los resultados del muestreo y el modelo geológico integrado, de conformidad con los principios establecidos por CRIRSCO (2019). Su propósito es proporcionar una base objetiva para el planeamiento minero y apoyar la evaluación inicial del potencial del yacimiento.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, esta estimación debe ser técnica, realista, documentada y coherente con el nivel de información disponible. Más que obtener una cifra de recursos, su objetivo es reducir la incertidumbre asociada al conocimiento del yacimiento y proporcionar información confiable para sustentar la toma de decisiones técnicas.

La estimación preliminar de recursos minerales integra, entre otros, los siguientes elementos:

- Geometría del cuerpo mineralizado: espesor, continuidad y límites laterales y verticales.
- Dominios geológicos y de ley, definidos a partir de la distribución de la mineralización.
- Propiedades físicas relevantes del yacimiento, especialmente la densidad del mineral y de la roca encajante.
- Resultados del muestreo respaldados mediante procedimientos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC).
- Modelo geológico integrado, que consolida la información geológica, estructural y analítica del depósito.

El resultado de esta etapa corresponde a una estimación técnicamente sustentada de los recursos minerales, elaborada con el nivel de confianza

permitido por la información disponible y utilizada como insumo para el planeamiento minero y la evaluación del proyecto.

4.3.7.1 Perspectivas razonables de explotación

Antes de realizar una estimación preliminar de recursos minerales en yacimientos de oro de filón, es necesario verificar que el material mineralizado identificado presente perspectivas razonables de explotación. Este concepto hace referencia a la evaluación de las condiciones geológicas, técnicas, operativas, ambientales, legales y territoriales que permiten considerar plausible el aprovechamiento futuro del yacimiento.

De acuerdo con los principios establecidos por el Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO) y adoptados por códigos internacionales de reporte como JORC y NI 43-101, la estimación de recursos minerales debe sustentarse en escenarios razonables de explotación. Este criterio busca asegurar que los recursos estimados correspondan a material con posibilidades reales de aprovechamiento y evitar sobreestimaciones del potencial del yacimiento.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, esta evaluación no corresponde a un estudio de prefactibilidad o factibilidad. Su propósito es verificar, con el nivel de información disponible, que el yacimiento reúne las condiciones mínimas necesarias para sustentar la estimación preliminar de recursos minerales y apoyar el planeamiento de la explotación.

La Tabla 4-27 presenta los principales aspectos que deben evaluarse para determinar las perspectivas razonables de explotación en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Tabla 4-27

Criterios básicos para verificar perspectivas razonables de explotación

Aspecto evaluado	Qué se revisa	Aplicación práctica en pequeña minería
Geometría de la veta	Espesor, continuidad lateral y vertical, forma del cuerpo mineralizado	Permite verificar si la veta tiene volumen suficiente y continuidad para explotación subterránea operativa
Calidad del mineral	Leyes de oro (g/t), densidad y mineralogía asociada (sulfuros, cuarzo)	Determina si el material cumple con las condiciones mínimas para beneficio directo o requiere tratamiento especial
Condiciones geotécnicas	Estabilidad de la roca encajante, presencia de fallas y grado de fracturamiento	Permite evaluar si es posible desarrollar labores subterráneas seguras (galerías, chimeneas)
Accesibilidad	Acceso al área, topografía y condiciones del terreno	Verifica si la veta puede ser alcanzada con métodos de explotación artesanal o mecanizada
Condiciones hidrogeológicas	Presencia de agua subterránea, saturación de la veta o drenaje natural	Permite anticipar posibles dificultades operativas y necesidad de sistemas de bombeo o 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).

La **Tabla 4-28** presenta la principal referencia técnica utilizada en Colombia para orientar la estimación y el reporte de recursos y reservas minerales, la cual constituye un referente para la aplicación de los principios internacionales en proyectos de exploración y evaluación de yacimientos.

Tabla 4-28

Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR)

Fuente técnica	Información disponible	Aplicación en la estimación de recursos
Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Minerales (ECRR)	Principios y lineamientos para la clasificación, estimación y reporte de resultados de exploración, recursos minerales y reservas minerales, armonizados con los estándares internacionales de CRIRSCO.	Orientar la estimación preliminar de recursos minerales y la elaboración de reportes técnicos conforme a buenas prácticas internacionales.

Nota. El Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Minerales (ECRR) puede consultarse en el sitio web oficial de la Comisión Colombiana de Recursos y Reservas.



4.3.7.2 Enfoques aplicables para la estimación de recursos

La estimación de recursos en pequeña minería puede desarrollarse bajo dos enfoques progresivos, que corresponden a etapas distintas del proyecto. La **Tabla 4-29** resume estas modalidades, diferenciando la estimación preliminar sin aplicación formal del estándar y la estimación bajo el ECRR.



Tabla 4-29

Enfoque para la estimación de recursos ECRR

Enfoque para la estimación de recursos	
Enfoque 1. Estimación de recursos (sin aplicación formal del ECRR)	Enfoque 2. Estimación de recursos bajo el ECRR
Este enfoque corresponde a la etapa inicial del proyecto. Se utiliza cuando el objetivo es sustentar técnicamente el planeamiento minero con una primera aproximación cuantitativa, sin entrar aún en la clasificación formal de recursos bajo estándares internacionales. Aplica cuando: ▪ El proyecto está en fase inicial. ▪ La densidad de información aún es limitada. ▪ Se requiere sustentar viabilidad técnica preliminar. ▪ No se ha alcanzado el plazo de formalización bajo ECRR. En este enfoque: el recurso se expresa en volumen (m³) o tonelaje (t), no se clasifica en medido, indicado o inferido, no se aplican factores modificadores de reservas, se reconoce explícitamente su carácter preliminar. Este procedimiento se alinea con las buenas prácticas de planeamiento minero promovidas por la ANM.	Este enfoque corresponde a una etapa posterior del proyecto, cuando el titular debe complementar el instrumento técnico con información formal bajo el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas 2025 Aplica cuando: ▪ Existe mayor densidad de información geológica. ▪ El proyecto avanza hacia la formalización. ▪ Se debe cumplir el plazo normativo de reporte. ▪ Se cuenta con QA/QC robusto. En este enfoque, el recurso puede clasificarse según nivel de confianza geológica: Medido: alta continuidad comprobada, sectores con datos abundantes, bajo nivel de incertidumbre. Indicado: continuidad razonable, datos suficientes, pero no exhaustivos. Inferido: información limitada, mayor incertidumbre en continuidad, sectores marginales que requieren exploración adicional.

4.3.7.3 Integración del modelo geológico para el cálculo del recurso

La transformación del modelo geológico en una estimación cuantitativa requiere integrar información geométrica, estructural y de calidad del mineral. La Tabla 4-30 presenta los pasos básicos para calcular volúmenes y definir escenarios técnicos mínimos y máximos en pequeña minería.

Tabla 4-30
Protocolo práctico para estimación preliminar de recursos

Paso	Acción práctica
Paso 1. Definir límites de la veta	Delimitar lateral y verticalmente el cuerpo explotable con base en perfiles, topografía detallada ($\geq 1:1.000$) y observaciones de campo.
Paso 2. Calcular espesores representativos	Construir mapa de isopacos o determinar espesor promedio por dominio de la veta.
Paso 3. Calcular volumen bruto	Multiplicar área por espesor promedio o utilizar interpolación (TIN / grillas).
Paso 4. Segmentar por dominios de calidad	Separar zonas homogéneas (alta ley, marginales, baja ley).
Paso 5. Aplicar factores de recuperación	Ajustar el volumen bruto según calidad, dilución y condiciones mínimas de aprovechamiento.
Paso 6. Definir escenario mínimo y máximo	Incorporar incertidumbre técnica basada en densidad de información y variabilidad estructural.

4.3.7.4 Aplicación de parámetros técnicos para la estimación de recursos

La estimación preliminar de recursos minerales requiere integrar la información geológica con los principales parámetros técnicos obtenidos durante la caracterización del yacimiento y el programa de muestreo. Estos parámetros permiten definir los dominios geológicos, estimar el tonelaje y representar de manera más confiable la distribución de la mineralización.

Entre los principales parámetros considerados se encuentran:

- **Leyes de oro (g/t):** permiten diferenciar dominios con características similares de mineralización y establecer la variabilidad espacial de las leyes.
- **Mineralogía:** contribuye a interpretar la distribución de la mineralización y reconocer variaciones en el comportamiento del depósito.
- **Densidad del mineral y de la roca encajante:** se utiliza para convertir los volúmenes estimados en toneladas.

- **Dominios geológicos:** facilitan la agrupación de sectores con características geológicas y de ley comparables, reduciendo la incertidumbre durante la estimación.

La aplicación de estos parámetros debe realizarse de manera consistente con el modelo geológico y con los resultados obtenidos mediante el programa de muestreo y aseguramiento de la calidad (QA/QC), evitando extrapolaciones que no estén respaldadas por la información disponible.

Procedimiento operativo

1. Consolidar la información geológica y analítica disponible.
2. Delimitar los dominios geológicos y de ley.
3. Calcular el volumen del cuerpo mineralizado por dominio.
4. Convertir el volumen a tonelaje utilizando la densidad correspondiente.
5. Estimar el contenido de oro a partir de las leyes obtenidas en el muestreo.
6. Documentar los supuestos, parámetros utilizados y el nivel de confianza de la estimación.

Formato básico de estimación preliminar

La **Tabla 4-31** presenta un formato de referencia para organizar los principales parámetros utilizados durante la estimación preliminar de recursos minerales. Su aplicación facilita la trazabilidad de la información, la documentación de los supuestos técnicos y la verificación de los resultados obtenidos.



Tabla 4-31
Formato básico de estimación preliminar

Parámetro	Valor	Fuente	Observación
Área de la veta	30.000 m²	Topografía 1:1.000	Delimitación SIG
Espesor promedio	1,2 m	Perfiles correlacionados	12 muestreos
Volumen bruto	36.000 m³	Cálculo volumétrico	Modelo TIN
Factor de recuperación	0,80	Ensayos de laboratorio	Ajuste por baja ley y mineralogía
Volumen utilizable	28.800 m³	Resultado ajustado	—
Incertidumbre	±20 %	Densidad de datos	Espaciamiento 25 m

Lista de chequeo – Estimación preliminar de recursos minerales

La siguiente lista de verificación permite confirmar que la estimación preliminar de recursos minerales se encuentra técnicamente sustentada y respaldada por la información geológica, analítica y metodológica disponible. Su propósito es asegurar la consistencia del proceso de estimación, la trazabilidad de la información y la adecuada documentación de los criterios empleados.

Antes de concluir la estimación preliminar de recursos minerales, verificar que se cuenta con:

- ☐ Geometría del cuerpo mineralizado claramente definida (límites laterales y verticales, espesor y continuidad).
- ☐ Espesores sustentados en información geológica de campo, perfiles y resultados de muestreo.
- ☐ Dominios geológicos y de ley definidos y debidamente documentados.

- ☐ Densidad del mineral y de la roca encajante determinada mediante información representativa.
- ☐ Resultados analíticos validados mediante procedimientos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC).
- ☐ Volúmenes y tonelajes estimados con base en el modelo geológico.
- ☐ Nivel de incertidumbre de la estimación documentado de acuerdo con la cantidad y calidad de la información disponible.
- ☐ Supuestos, criterios de interpretación, limitaciones técnicas y metodología de estimación debidamente documentados.
- ☐ Fuentes de información, procedimientos y métodos de cálculo registrados y disponibles para su verificación.

4.3.7.5 Recomendaciones

Las recomendaciones presentadas en la Tabla 4-31 reúnen los principales lineamientos técnicos para desarrollar una estimación preliminar de recursos minerales consistente, documentada y coherente con la información disponible. Su aplicación contribuye a reducir la incertidumbre, fortalecer la trazabilidad de los datos y proporcionar una base técnica confiable para el planeamiento minero y la evaluación del yacimiento.

Buenas prácticas recomendadas

- Basar la estimación exclusivamente en información geológica y analítica verificada, respaldada mediante procedimientos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC).
- Delimitar los dominios geológicos y de ley con fundamento en la interpretación geológica del yacimiento.
- Evitar extrapolar espesores, continuidad o leyes más allá de lo sustentado por la información disponible.
- Utilizar valores representativos de densidad del mineral y de la roca encajante para la conversión de volúmenes a tonelajes.
- Documentar los supuestos, parámetros, metodología y criterios empleados durante la estimación.
- Expresar el nivel de incertidumbre de acuerdo con la cantidad y calidad de la información disponible.
- Mantener consistencia entre la estimación de recursos minerales y el modelo geológico del yacimiento.
- Registrar las fuentes de información, los procedimientos de cálculo y las herramientas utilizadas para asegurar la trazabilidad de la estimación.

Ejemplo de aplicación de buenas practicas

Durante la evaluación de un yacimiento de oro de filón se identifica un cuerpo mineralizado con un espesor promedio de 1,0 m, continuidad comprobada a lo largo de 150 m y una ley promedio de 12 g/t de oro, sustentada mediante un programa de muestreo con procedimientos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC). A partir del modelo geológico y de una densidad representativa de 2,8 t/m³, se realiza la estimación preliminar del volumen, tonelaje y contenido de oro del sector.

En otros sectores del yacimiento se identifican variaciones en el espesor, la continuidad y las leyes, por lo que la estimación incorpora diferentes niveles de incertidumbre de acuerdo con la información disponible. La clasificación definitiva de los recursos minerales deberá realizarse conforme a los criterios establecidos en el ECRR y bajo la responsabilidad de un Profesional Competente.

4.3.8 Estudio Geotécnico

El estudio geotécnico proporciona la información necesaria para evaluar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso y constituye la base para el diseño seguro de las labores mineras. En yacimientos de oro de filón, donde la mineralización suele encontrarse asociada a macizos rocosos fracturados y sistemas de discontinuidades, la caracterización geotécnica permite identificar los factores que pueden afectar la estabilidad de las excavaciones y definir las medidas de sostenimiento más apropiadas para cada condición geológica.

La evaluación geotécnica también contribuye a identificar riesgos asociados con la explotación subterránea, tales como desprendimientos de roca, inestabilidad en zonas de falla y concentración de esfuerzos, proporcionando información para el diseño del sostenimiento, la planificación de las labores y la gestión del riesgo geotécnico.





En proyectos de pequeña minería de oro de filón, el estudio geotécnico constituye una herramienta fundamental para apoyar el planeamiento minero, reducir la probabilidad de inestabilidades del macizo rocoso, optimizar las medidas de sostenimiento y contribuir al desarrollo de operaciones más seguras y técnicamente sostenibles.

La **Figura 4-8** presenta la secuencia metodológica propuesta para el desarrollo del estudio geotécnico del yacimiento.

Figura 4-8

Esquema del estudio geotécnico del yacimiento



4.3.8.1 Alcance en proyectos de pequeña minería

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, el estudio geotécnico debe:

- Caracterizar el macizo rocoso mediante metodologías de clasificación geomecánica ampliamente utilizadas, como RQD, RMR y Q-System.
- Identificar y caracterizar las discontinuidades geológicas (fracturas, fallas, diaclasas y planos de estratificación) y evaluar su influencia sobre la estabilidad de las excavaciones.
- Identificar sectores con potencial de inestabilidad y establecer las restricciones operativas correspondientes.
- Definir criterios para el diseño del sostenimiento de acuerdo con las condiciones geomecánicas observadas.
- Proporcionar recomendaciones para el desarrollo seguro de las labores mineras y la gestión del riesgo geotécnico.

4.3.8.2 Componentes del Estudio Geotécnico

La caracterización geotécnica integra un conjunto de elementos que permiten evaluar las condiciones del macizo rocoso y definir las medidas de sostenimiento requeridas para el desarrollo seguro de las labores mineras. La Tabla 4-32 presenta los principales componentes que deben considerarse durante esta etapa y su contribución a la evaluación geotécnica del yacimiento.

Tabla 4-32
Componentes del estudio geotécnico

Componente	Descripción breve	Aplicación en pequeña minería
Mapeo geotécnico	Registro de discontinuidades, buzamiento y espaciamiento.	Permite identificar zonas críticas de inestabilidad.
Clasificación del macizo	Uso de RMR, Q-System y RQD.	Define calidad de la roca y necesidades de sostenimiento.
Propiedades mecánicas	Ensayos de resistencia, dureza y cohesión.	Sustenta diseño de sostenimiento y equipos de minado.
Condiciones hidrogeológicas	Presencia de agua, filtraciones y presión.	Permite diseñar drenajes y prevenir fallas por saturación.
Diseño de sostenimiento	Pernos, malla, arcos metálicos.	Garantiza seguridad y continuidad de la explotación.

4.3.8.3 Protocolo práctico para estudio geotécnico

El estudio geotécnico es fundamental para evaluar la estabilidad del macizo rocoso y definir medidas de soporte en pequeña minería de oro de filón. La Tabla 4-33 organiza las actividades básicas necesarias para garantizar seguridad y confiabilidad en las labores subterráneas.

Tabla 4-33
Protocolo práctico para estudio geotécnico

Paso	Acción práctica
Paso 1. Reconocimiento inicial (Techo y piso)	- Identificar tipos de roca encajante - Registrar discontinuidades principales.
Paso 2. Mapeo geotécnico	- Levantar planos y perfiles con orientación de fallas y diaclasas - Medir espaciamiento y buzamiento.
Paso 3. Clasificación del macizo	- Calcular RQD en frentes de trabajo - Aplicar RMR y Q-System.
Paso 4. Evaluación hidrogeológica	- Identificar filtraciones y presión de agua - Diseñar drenajes si es necesario.
Paso 5. Diseño de sostenimiento	- Definir tipo de soporte según calidad de roca - Instalar pernos, malla o concreto lanzado según clasificación.
Paso 6. Monitoreo y control	- Implementar inspección visual diaria - Documentar cambios en estabilidad.

4.3.8.4 Herramientas y ejemplos de aplicación

Con el propósito de facilitar la evaluación de las condiciones geotécnicas del macizo rocoso, esta sección presenta herramientas prácticas que apoyan la caracterización geomecánica y la definición de medidas de sostenimiento acordes con las condiciones del yacimiento. Su aplicación permite interpretar de manera sistemática la calidad del macizo rocoso, identificar sectores con diferentes niveles de estabilidad y orientar el diseño de las labores mineras.



96

Tabla 4-34

Condiciones geotécnicas e implicaciones

RQD (%)	Calidad de la Roca	Implicación en Estabilidad
90–100	Excelente	Muy estable, requiere poco sostenimiento.
50–75	Regular	Moderadamente estable, requiere sostenimiento moderado.
25–50	Pobre	Inestable, requiere sostenimiento intensivo.
0–25	Muy pobre	Muy inestable, requiere sostenimiento pesado o evitar explotación.

Semáforo geotécnico

Como herramienta complementaria para la gestión del riesgo geotécnico, los sectores del macizo rocoso pueden clasificarse mediante un esquema gráfico tipo semáforo, el cual facilita la interpretación de las condiciones de estabilidad y orienta la adopción de medidas operativas durante el desarrollo de las labores mineras.

La **Figura 4-9** presenta un ejemplo de clasificación de las condiciones geotécnicas en tres niveles de estabilidad, junto con las acciones generales recomendadas para cada situación.

● Verde – Condiciones estables: Corresponde a sectores con macizo rocoso competente, escasa fracturación, ausencia de inestabilidades visibles y condiciones favorables para el desarrollo de las labores. Se recomienda continuar las actividades de explotación conforme al planeamiento minero y mantener el monitoreo geotécnico rutinario.

● Amarillo – Condiciones condicionadas: Corresponde a sectores donde se observan fracturas, humedad, cambios litológicos o indicios de reducción en la calidad del macizo rocoso. Se recomienda incrementar el monitoreo geotécnico, evaluar la necesidad de reforzar el sostenimiento y ajustar las actividades de explotación de acuerdo con las condiciones observadas.

● Rojo – Condiciones restringidas: Corresponde a sectores con evidencias de inestabilidad, tales como roca altamente fracturada, caída de bloques, presencia de fallas, deformaciones significativas o infiltraciones que comprometan la estabilidad de las excavaciones. Se recomienda suspender las labores, restringir el acceso al área, implementar las medidas de sostenimiento requeridas y reanudar las actividades únicamente cuando las condiciones de seguridad hayan sido restablecidas y verificadas por el responsable técnico.

Figura 4-9

Ejemplo esquema tipo “semáforo” estudio geotécnico



Lista de chequeo – Estudio geotécnico

La siguiente lista de verificación permite confirmar que el estudio geotécnico proporciona la información necesaria para evaluar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso y definir las medidas de sostenimiento requeridas para el desarrollo seguro de las labores mineras.

Antes de concluir el estudio geotécnico, verificar que se cuenta con:

- ☐ Mapeo geotécnico de las labores mineras realizado y debidamente documentado.
- ☐ Caracterización del macizo rocoso mediante metodologías de clasificación geomecánica (por ejemplo, RQD, RMR o Q-System), según las condiciones del yacimiento.
- ☐ Discontinuidades geológicas (fracturas, fallas, diaclasas y planos de debilidad) identificadas, caracterizadas y cartografiadas.
- ☐ Sectores con potencial de inestabilidad delimitados y evaluados.
- ☐ Medidas de sostenimiento definidas de acuerdo con las condiciones geomecánicas identificadas.
- ☐ Programa de monitoreo geotécnico establecido para el seguimiento de las condiciones de estabilidad.
- ☐ Lineamientos operativos y medidas de seguridad documentados para el desarrollo de las labores mineras.





Ejemplo de aplicación de buenas prácticas

Durante el desarrollo de una labor subterránea en un yacimiento de oro de filón, el mapeo geotécnico identifica un macizo rocoso con un índice RQD del 40 %, presencia de discontinuidades abiertas e infiltraciones de agua en el frente de avance. Con base en la caracterización geomecánica, el responsable técnico determina que el sector presenta condiciones de estabilidad condicionadas y establece medidas de sostenimiento acordes con las características del macizo, complementadas con acciones para el control del agua y el monitoreo permanente de la excavación.

La implementación de estas medidas permite reducir el riesgo de inestabilidad, mejorar las condiciones de seguridad para el personal y garantizar la continuidad de las labores de explotación conforme al planeamiento minero.

4.3.8.5 Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones reúnen las principales buenas prácticas para que el estudio geotécnico constituya una herramienta efectiva en la gestión del riesgo, el diseño del sostenimiento y el planeamiento de las labores mineras en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Buenas prácticas recomendadas

Realizar el mapeo geotécnico de manera sistemática durante el avance de las labores, actualizando la información cuando se presenten cambios en las condiciones del macizo rocoso.

Aplicar metodologías de clasificación geomecánica, como RQD, RMR o Q-System, según las características del yacimiento y el nivel de información disponible.

Evaluar la influencia de las discontinuidades geológicas, las condiciones hidrogeológicas y otros

factores que puedan afectar la estabilidad de las excavaciones.

Diseñar e implementar las medidas de sostenimiento de acuerdo con las condiciones geomecánicas identificadas y efectuar su seguimiento durante la operación.

Mantener un programa de monitoreo geotécnico que permita identificar oportunamente cambios en las condiciones de estabilidad del macizo rocoso. Documentar los criterios técnicos, las medidas implementadas y las observaciones realizadas durante el seguimiento geotécnico.

Restringir o suspender temporalmente las labores en sectores donde se identifiquen condiciones que comprometan la estabilidad de las excavaciones, hasta que se implementen las medidas de control correspondientes

4.3.9 Estimación de recursos

La estimación de reservas minerales corresponde a la etapa en la cual una porción de los recursos minerales previamente estimados se convierte en reservas mediante la aplicación de los factores modificadores que determinan su viabilidad técnica, económica, ambiental, legal y social. Este proceso constituye el vínculo entre la caracterización del yacimiento y el diseño del proyecto minero, proporcionando la base para la planificación de la explotación.

¿Qué es una reserva mineral?

Una reserva mineral corresponde a la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido o indicado, cuya viabilidad ha sido demostrada mediante la aplicación de los factores modificadores establecidos en el Estándar Colombiano para el Reporte Público de Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Minerales (ECRR). Estos factores comprenden, entre otros, aspectos

relacionados con la minería, el procesamiento, la metalurgia, la geotecnia, la hidrogeología, las condiciones ambientales, los aspectos sociales, las consideraciones legales y los criterios económicos. Relación entre recursos y reservas

Las reservas minerales se derivan de los recursos minerales, pero su estimación requiere una evaluación adicional que incorpore los factores modificadores y demuestre que la explotación puede desarrollarse de manera técnica, segura, ambientalmente responsable y económicamente viable. En consecuencia, no todo recurso mineral puede convertirse en reserva.

La estimación y clasificación de recursos y reservas minerales deberán realizarse de conformidad con el ECRR o con otros estándares internacionales reconocidos por CRIRSCO, y estar respaldadas por un Profesional Competente conforme a la normativa aplicable.

La **Figura 4-10** presenta de manera esquemática la transición desde el modelo geológico y la estimación de recursos minerales hasta la estimación de reservas, mediante la aplicación de los factores modificadores que determinan la viabilidad del proyecto minero.

Figura 4-10
Estimación de recursos y reservas

Relación entre recursos y reservas

La **Figura 4-11** presenta la secuencia metodológica mediante la cual una porción de los recursos minerales puede convertirse en reservas minerales, a partir de la aplicación de los factores modificadores que determinan la viabilidad técnica, económica, ambiental, legal y social del proyecto. Este proceso integra la información geológica, los estudios técnicos y el planeamiento minero para identificar la parte del yacimiento que puede ser explotada de manera segura, responsable y económicamente viable.

Figura 4-11
Ruta para estimación de reservas auríferas



ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS



- Tonelaje/volumen explotable y ley explotable.
- Recuperación metalúrgica estimada.
- Condiciones de seguridad y estabilidad.
- Viabilidad ambiental, social y legal.
- Viabilidad económica.

Factores clave en la estimación de reservas minerales

La estimación de reservas minerales requiere integrar la información geológica con las condiciones reales de explotación y beneficio del yacimiento. A diferencia de los recursos minerales, que representan una estimación del potencial geológico, las reservas corresponden únicamente a la parte del recurso cuya extracción ha demostrado ser técnica, económica, ambiental y legalmente viable mediante la aplicación de los factores modificadores.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, es fundamental comprender que la reserva no depende únicamente de la cantidad o de la ley del mineral, sino también de las condiciones bajo las cuales dicho mineral puede extraerse y procesarse de manera segura y rentable.

Factores clave en minería de oro de filón

- **Ley del mineral extraído:** Puede diferir de la ley estimada del recurso debido a la dilución y a las pérdidas propias de la explotación minera.
- **Recuperación metalúrgica:** Corresponde al porcentaje de oro que puede recuperarse efectivamente durante el proceso de beneficio y depende de las características mineralógicas del yacimiento y del proceso utilizado.
- **Ley de corte (Cut-off):** Es la ley mínima a partir de la cual un material puede considerarse económicamente explotable. Su valor depende de los costos de explotación, procesamiento, recuperación metalúrgica, precio del oro y demás condiciones económicas del proyecto.

En consecuencia, la estimación de reservas constituye el resultado de integrar el conocimiento geológico del yacimiento con las condiciones reales de explotación, procesamiento y viabilidad del proyecto minero.

Recomendaciones para el pequeño minero

Es importante comprender que:

No todo el recurso mineral puede convertirse en reserva.

La dilución y las pérdidas durante la explotación pueden modificar la ley del mineral extraído.

La recuperación metalúrgica determina la cantidad de oro que realmente puede obtenerse durante el beneficio.

La viabilidad económica del proyecto depende de los costos de operación, la productividad y las condiciones del mercado.

1. Tipos de reservas mineras

De acuerdo con el ECRR, las reservas minerales corresponden a la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido o indicado, cuya viabilidad ha sido demostrada mediante la aplicación de los factores modificadores.

En términos generales, las reservas minerales se clasifican en:

Reserva Probable

- Deriva normalmente de recursos minerales indicados y, en algunos casos, de recursos medidos cuando existen factores modificadores que reducen el nivel de confianza.
- Presenta un nivel razonable de confianza para sustentar el planeamiento minero y la evaluación económica del proyecto.

Reserva Probada

- Deriva de recursos minerales medidos.
- Corresponde al mayor nivel de confianza geológica y técnica, sustentado mediante información



suficiente y la aplicación de los factores modificadores.

La clasificación definitiva de las reservas minerales deberá realizarse conforme a los criterios establecidos en el ECRR y bajo la responsabilidad de un Profesional Competente.

Aplicación de los factores modificadores

En el enfoque adoptado por CRIRSCO y el ECRR, las reservas minerales se obtienen mediante la aplicación de los factores modificadores a los recursos minerales medidos e indicados. Estos factores permiten evaluar la viabilidad real del proyecto y constituyen el vínculo entre el modelo geológico y el diseño de explotación.

Los principales factores modificadores incluyen:

- Factores mineros: método de explotación, dilución, pérdidas y recuperación minera.
- Factores metalúrgicos: comportamiento del mineral durante el beneficio y recuperación metalúrgica.
- Factores geotécnicos e hidrogeológicos: estabilidad del macizo rocoso, presencia de agua y condiciones para el desarrollo de las labores.
- Factores de infraestructura: accesos, transporte, energía, agua y demás condiciones operativas.
- Factores económicos: costos de inversión y operación, precio del oro y ley de corte.
- Factores ambientales: restricciones ambientales, medidas de manejo y costos asociados.
- Factores legales: cumplimiento de la normativa minera y ambiental vigente.
- Factores sociales y de gobernanza: condiciones para el desarrollo sostenible del proyecto y relacionamiento con los grupos de interés.

Es importante resaltar que, conforme al ECRR y a los estándares CRIRSCO, los recursos minerales inferidos no constituyen base para la estimación de reservas, debido a que su nivel de incertidumbre no permite demostrar la viabilidad técnica y económica requerida.

Rangos de referencia en pequeña minería

- Reserva probable: 50 % – 70 % del recurso
- Reserva probada: 80 % – 95 % del recurso

Ejemplo de aplicación

A partir de un recurso de 100.000 toneladas con una ley promedio de 5 g/t Au, el equipo técnico desarrolla el diseño de explotación y evalúa la dilución, la recuperación minera, la recuperación metalúrgica, la ley de corte y las restricciones ambientales, geotécnicas y económicas. Con base en estos análisis se determina qué parte del recurso puede clasificarse como reserva mineral.

Durante la evaluación para convertir parte del recurso en reserva se obtiene la siguiente información técnica:

Parámetro	Valor
Recurso medido	100.000 t
Ley promedio	5 g/t Au
Dilución minera estimada	8 %
Recuperación minera	92 %
Recuperación metalúrgica	90 %
Ley de corte	3 g/t Au

La diferencia entre reserva probable y probada depende del nivel de conocimiento y control del yacimiento, no solo del cálculo.



Recomendaciones:

- Hay niveles de confianza
- No todo el recurso es reserva
- El porcentaje refleja incertidumbre



102

2. Cálculo de reservas minerales según el estándar CRIRSCO (factores modificadores y procedimiento de estimación)

En el enfoque adoptado por el ECRR y por los estándares internacionales de **CRIRSCO**, una reserva mineral corresponde a la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido o indicado, cuya viabilidad ha sido demostrada mediante la aplicación de los factores modificadores.

Es importante destacar que los recursos minerales inferidos no constituyen base para la estimación de reservas, debido a que su nivel de incertidumbre no permite demostrar, con el grado de confianza requerido, la viabilidad técnica y económica del proyecto.

¿Qué son los factores modificadores?

Los factores modificadores corresponden al conjunto de evaluaciones técnicas, económicas, ambientales, legales y sociales que permiten transformar la información geológica del yacimiento en un proyecto minero técnicamente ejecutable y económicamente viable.

Los principales factores modificadores comprenden:

- **Factores mineros:** método de explotación, dilución, pérdidas mineras, recuperación minera y diseño de la explotación.
- **Factores metalúrgicos:** comportamiento del mineral durante el beneficio y recuperación metalúrgica.
- **Factores de infraestructura:** disponibilidad de accesos, energía, agua, transporte y demás servicios requeridos para la operación.

- **Factores económicos:** costos de inversión y operación, precio del oro y definición de la ley de corte.
- **Factores comerciales:** condiciones de comercialización y valor esperado del producto mineral.
- **Factores legales:** cumplimiento de la normativa minera, ambiental y de ordenamiento territorial.
- **Factores ambientales:** restricciones ambientales, medidas de manejo y obligaciones derivadas del instrumento ambiental aplicable.
- **Factores sociales y de gobernanza:** relacionamiento con las comunidades, aspectos institucionales y demás condiciones que puedan influir en el desarrollo del proyecto.

Procedimiento general para la estimación de reservas

La estimación de reservas minerales comprende, de manera general, las siguientes etapas:

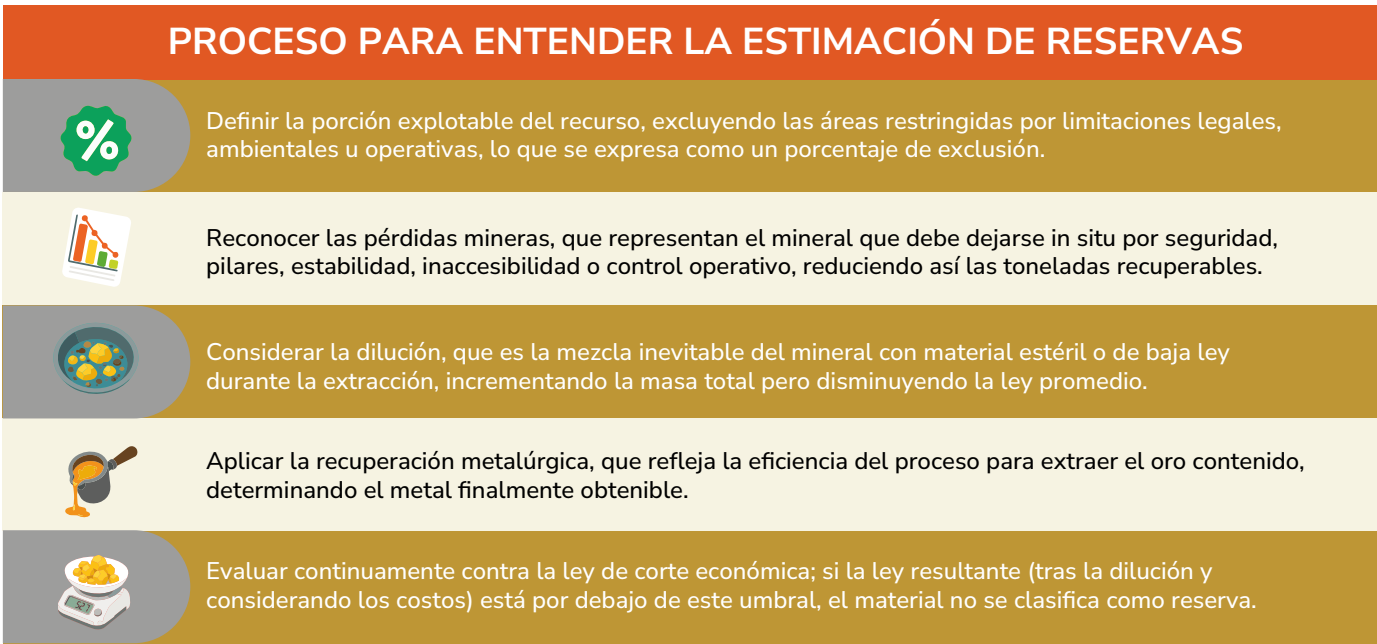
1. Partir de la estimación y clasificación de los recursos minerales.
2. Elaborar el diseño preliminar de explotación.
3. Definir la ley de corte y los parámetros técnicos de la operación.
4. Evaluar los factores modificadores aplicables al proyecto.
5. Determinar la porción del recurso que puede explotarse de manera técnica, económica, ambiental y legalmente viable.
6. Clasificar las reservas minerales conforme a los criterios establecidos en el ECRR.

La aplicación de los factores modificadores no responde a porcentajes predeterminados ni a coeficientes de conversión fijos. Cada proyecto requiere una evaluación técnica específica, sustentada en las características del yacimiento, el método de explotación, las condiciones operativas y los estudios que soportan la viabilidad del proyecto.

Aplicación práctica de los factores modificadores

La **Figura 4-12** presenta la secuencia metodológica para la aplicación de los factores modificadores durante la estimación de reservas minerales, ilustrando el proceso mediante el cual una porción de los recursos minerales medidos o indicados puede convertirse en reservas, siempre que se demuestre su viabilidad técnica, económica, ambiental, legal y social conforme a los lineamientos del ECRR y de CRIRSCO.

Figura 4-12
Paso a paso para estimar reserva a partir de recursos



La diferencia entre reservas probables y probadas radica en el nivel de confianza de los factores modificadores, siendo más conservadores en condiciones de mayor incertidumbre. En la Tabla 4-35 se puede observar uno de los ejemplos para estimación de reservas probables teniendo en cuenta los factores modificadores.

Tabla 4-35
Ejemplo del cálculo de Reservas Probables

Factor modificador	Porcentaje que afecta el recurso	Descripción del porcentaje (cómo afecta)
Restricción legal/ambiental/social (zona NO explotable)	5%	Significa que el 5% del recurso queda por fuera del área/condición operable. Se excluye del cálculo de reserva antes de aplicar los demás factores.
Pérdidas en minado	10%	Significa que, por seguridad/estabilidad/inaccesibilidad/control operativo, se pierde el 10% del mineral que estaba dentro del área operable. Reduce toneladas recuperables.

Dilución	15%	Significa que al extraer mineral se incorpora 15% de material sin ley o marginal. Aumenta toneladas extraídas, pero disminuye la ley promedio del material enviado a planta.
Recuperación metalúrgica	85%	Significa que, de todo el oro contenido en el material alimentado, solo se recupera el 85% como oro vendible. Afecta el oro recuperable final.
Ley de corte (cut-off)	—	No es porcentaje: es la ley mínima (g/t) para que el material sea económicamente explotable. Si la ley resultante cae por debajo, ese material no se declara reserva.

En la **Tabla 4-36** se observa otro ejemplo de aplicación de factores modificadores con mayor nivel de confianza para definir reservas probadas.

Tabla 4-36
Ejemplo del cálculo de Reservas Probadas.

Factor modificador	Porcentaje que afecta el recurso	Descripción del porcentaje (cómo afecta)
Restricción legal/ambiental/social (zona NO explotable)	2%	Se excluye un 2% del recurso por restricciones o condiciones definidas con mejor precisión.
Pérdidas en minado	8%	Se estima que se pierde el 8% del mineral dentro del área operable por control de diseño y mejores datos operacionales.
Dilución	12%	Se incorpora 12% de material diluyente; aumenta toneladas y baja ley, pero con mejor control/selectividad.
Recuperación metalúrgica	88%	Se recupera el 88% del oro contenido, soportado en pruebas/datos más confiables o mejor control del proceso.
Ley de corte (cut-off)	—	Umbral económico (g/t) para declarar reserva; si la ley final queda por debajo, no se reporta como reserva.

Recomendaciones:

- La reserva no es solo geología
- La mina real cambia todo
- Los porcentajes reflejan pérdidas y control

4.4 Selección preliminar del método de explotación

La selección preliminar del método de explotación corresponde al proceso mediante el cual se identifica la alternativa de extracción más adecuada para el aprovechamiento del yacimiento, con base en sus características geológicas, estructurales, geomecánicas, hidrogeológicas y operacionales. Su propósito

es establecer el sistema de explotación que proporcione condiciones apropiadas de seguridad, estabilidad, recuperación del recurso mineral y viabilidad técnica para el desarrollo del proyecto minero.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, esta etapa no tiene como finalidad desarrollar el diseño detallado de la explotación, sino definir, con criterios técnicos, el método que mejor se adapta a las condiciones del cuerpo mineralizado. Para ello se consideran aspectos como la geometría y orientación de las vetas, el espesor mineralizado, el buzamiento, la continuidad de la mineralización, las características del macizo rocoso, las condiciones hidrogeológicas, la estabilidad de las excavaciones y las limitaciones técnicas y operativas propias de la pequeña minería.



La información obtenida durante la evaluación geológica, la caracterización del yacimiento, la exploración directa, el modelamiento geológico, la estimación preliminar de recursos minerales y la evaluación geotécnica constituye la base técnica para esta etapa del planeamiento minero. Su integración permite comprender la distribución espacial de la mineralización, las condiciones del macizo rocoso y el comportamiento esperado del yacimiento durante la explotación, facilitando la selección del método que ofrezca las mejores condiciones de seguridad, eficiencia operativa y aprovechamiento del recurso mineral.

4.4.1 Criterios generales para la selección del método de explotación

La selección preliminar del método de explotación debe fundamentarse en un análisis integral de las condiciones geológicas, geomecánicas, operacionales y económicas del yacimiento. La evaluación conjunta de estos criterios permite identificar el método de explotación que mejor se adapta a las características del cuerpo mineralizado, favoreciendo la seguridad de las labores, el aprovechamiento eficiente del recurso mineral y la viabilidad técnica del proyecto.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, la selección del método de explotación debe considerar, como mínimo, los criterios técnicos presentados en la **Tabla 4-37**, los cuales constituyen la base para comparar las diferentes alternativas de explotación y seleccionar la opción más adecuada para las condiciones particulares del yacimiento.

Esta decisión debe fundamentarse en el análisis integrado de las características del cuerpo mineralizado y de las condiciones técnicas de la operación minera. Para ello, se consideran aspectos como la geometría de la mineralización, el espesor de la veta, el buzamiento, la continuidad del cuerpo mineralizado, las condiciones geomecánicas e hidrogeológicas, la estabilidad de las excavaciones, el acceso al yacimiento, la escala de producción prevista y la capacidad técnica y operativa de la unidad minera.

La evaluación conjunta de estos criterios permite identificar el método de explotación que mejor se adapta a las condiciones del yacimiento, favoreciendo la seguridad de las labores, el aprovechamiento eficiente del recurso mineral y la viabilidad técnica de la operación.

Tabla 4-37

Criterios generales para la selección preliminar del método de explotación

Condición del yacimiento	Método de explotación recomendado	Justificación técnica
Vetas angostas, continuas y con buzamiento alto	Corte y relleno (Cut and Fill)	Permite una alta recuperación del mineral, mantiene la estabilidad del macizo rocoso y reduce la dilución.
Vetas angostas con buena competencia geomecánica	Realce por almacenamiento (Shrinkage Stopping)	Aprovecha la estabilidad natural del macizo y facilita la explotación de cuerpos mineralizados con buzamientos pronunciados.
Vetas de espesor moderado con roca competente	Cámaras y pilares.	Proporciona estabilidad estructural y facilita la explotación mediante el sostenimiento natural de pilares.
Cuerpos mineralizados superficiales o aflorantes	Explotación a cielo abierto.	Permite un acceso inicial económico cuando las condiciones topográficas y ambientales lo permiten.
Yacimientos con alta variabilidad estructural o geológica	Explotación secuencial por bloques o paneles.	Facilita adaptar el avance minero conforme se obtiene nueva información geológica durante la explotación.

4.4.2 Fundamentos para la selección del método de explotación

La selección del método de explotación debe sustentarse en el modelo geológico del yacimiento, el cual integra la información obtenida durante las etapas de exploración y caracterización, incluyendo la geometría del cuerpo mineralizado, la continuidad de la mineralización, los controles estructurales, la distribución espacial de las leyes y las condiciones geomecánicas e hidrogeológicas identificadas.

A partir de esta información es posible reconocer los sectores con mayor potencial para la explotación, identificar restricciones técnicas asociadas con la estabilidad del macizo rocoso, la presencia de fallas geológicas, zonas de alteración o agua subterránea y definir una secuencia preliminar de explotación acorde con las condiciones del yacimiento. De esta manera, el modelo geológico constituye el principal soporte técnico para seleccionar el método de explotación antes de desarrollar el diseño detallado de la mina.

En consecuencia, la selección del método de explotación representa el vínculo entre el conocimiento geológico del yacimiento y el planeamiento minero,

permitiendo que las decisiones técnicas respondan a las condiciones reales de la mineralización, favorezcan el aprovechamiento eficiente del recurso mineral y contribuyan a la seguridad y estabilidad de las labores durante la operación.

La **Figura 4-13** presenta el proceso general para la selección preliminar del método de explotación en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

4.4.3 Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación

Antes de definir el método de explotación, es recomendable verificar que se dispone de la información técnica mínima necesaria para sustentar esta decisión. La siguiente lista de verificación constituye una herramienta práctica para confirmar que la selección propuesta se encuentra respaldada por la caracterización geológica, geomecánica e hidrogeológica del yacimiento, así como por los criterios técnicos considerados durante el proceso de planeamiento minero.

Figura 4-13

Ejemplo Proceso general para la selección preliminar del método de explotación



Tabla 4-38
Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación

Aspecto por verificar	Sí	No
Tipo de yacimiento identificado		
Geometría del cuerpo mineralizado caracterizada		
Espesor y buzamiento de la veta definidos		
Continuidad de la mineralización evaluada		
Condiciones geomecánicas analizadas		
Presencia de agua subterránea evaluada		
Modelo geológico elaborado		
Estimación preliminar de recursos realizada		

La selección preliminar del método de explotación constituye el enlace entre el conocimiento geológico del yacimiento 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 de la mineralización y sirva como base para el diseño geométrico, operacional y de seguridad de la explotación.





5. DISEÑO DE MINA

El diseño de mina constituye la etapa del planeamiento minero en la que se integran los resultados de la evaluación geológica, geotécnica, hidrogeológica, ambiental y operativa para definir la configuración técnica de la explotación. Su propósito es establecer una operación minera segura, estable, técnicamente viable y orientada al aprovechamiento eficiente del recurso mineral.

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, el diseño de mina debe desarrollarse mediante soluciones técnicas acordes con la escala de producción, las características del yacimiento y la capacidad operativa de la unidad minera, procurando un esquema de explotación funcional, controlable y adaptable a las condiciones reales de la operación. La **Tabla 5-1** presenta los principales componentes que integran el diseño de mina y la forma en que las diferentes variables técnicas interactúan para estructurar una operación minera viable.

Tabla 5-1
Enfoque de diseño de mina

Elemento	Síntesis metodológica
Propósito del diseño de mina	Convertir la información técnica del yacimiento en una operación minera segura, estable y operativamente viable.
Información que integra	Geología, geotecnia, hidrogeología, condiciones ambientales y variables operativas de la explotación.
Principio para pequeña minería	El diseño no debe buscar complejidad técnica, sino garantizar orden operativo, control del terreno, seguridad de los trabajadores y coherencia con la producción esperada.
Resultado esperado	Operación minera planificada, segura y técnicamente viable.

Como resultado del proceso de diseño, debe definirse una base técnica que sirva de soporte para el desarrollo de la explotación minera. Los principales componentes de esta estructura se presentan en la **Figura 5-1** (anexo del Capítulo 5).

Figura 5-1
Proceso minero general para pequeña minería



- Al finalizar este capítulo, el diseño de mina deberá definir, como mínimo, los siguientes aspectos:
- Geometría y ubicación de las labores mineras (subterráneas y, cuando aplique, superficiales), incluyendo accesos, niveles, galerías y frentes de explotación.
 - Parámetros geotécnicos para la estabilidad de las excavaciones y criterios de sostenimiento.
 - Sistema de manejo del agua, incluyendo captación, drenaje, desagüe, recirculación y restricciones hidrogeológicas.



- Manejo de materiales estériles, botaderos o escombreras y disposición de relaves o colas provenientes del beneficio mineral.
- Infraestructura esencial para la operación, incluyendo ventilación, suministro de energía, comunicaciones, señalización y rutas de evacuación.
- Integración entre la mina y la planta de beneficio, considerando la capacidad de producción, la granulometría del mineral, la recuperación esperada y el manejo de los residuos generados durante el beneficio.
- Restricciones y determinantes territoriales aplicables al proyecto, incluyendo áreas excluidas o restringidas para la actividad minera, instrumentos de ordenamiento territorial, áreas protegidas y demás condicionantes legales y ambientales.

La **Figura 5-2** presenta una visión integrada del diseño de mina, mostrando la interacción entre los componentes geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, ambientales y operacionales que deben considerarse para desarrollar una operación minera segura, técnicamente viable y ambientalmente responsable.

Figura 5-2

Resumen del diseño de mina

DISEÑO DE MINA				OBJETIVO DEL DISEÑO		
Operación segura, estable, simple, controlable y técnicamente viable.						
COLUMNA VERTEBRAL DEL DISEÑO						
Labores, accesos y frentes activos	Estabilidad y sostenimiento	Drenaje, desagüe y recirculación	Estériles, botaderos y relaves	Ventilación, energía y evacuación	Conexión mina-planta	Restricciones territoriales
CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS		CONSIDERACIONES HIDROGEOLÓGICAS		RECOMENDACIONES TRANSVERSALES		
La pregunta clave es si el terreno se mantendrá estable en las condiciones reales de trabajo.		El agua es insumo del proceso, pero también un vector de riesgo e impacto.		El diseño debe conectar la mina con el planeamiento, la seguridad y la formalización.		
Información mínima Mapeo geotécnico en frentes, taludes y labores; clasificación del macizo rocoso (RMR, Q o GSI); ensayos simples y registro de inestabilidades históricas.		Caracterización del agua Identificar ríos, afluentes, zonas de inundación, captaciones, filtraciones, surgencias y labores antiguas inundadas; diferenciar agua limpia y agua de proceso.		Diseño + planeamiento El diseño nace de la caracterización previa y define una secuencia lógica de explotación: dónde, cómo y en qué orden avanzar.		
Control estructural La geometría debe reconocer diaclasas, fallas y zonas alteradas. Si la orientación es desfavorable, se compensa con bermas, taludes más tendidos o soporte reforzado.		Aguas subterráneas y desagüe Dar pendiente a galerías y labores hacia sumideros; incorporar cunetas internas, puntos de bombeo y control de caudales súbitos en zonas fracturadas.		Infraestructura y servicios Vías, patios, botaderos, planta, ventilación, electrificación y servicios deben caber en el layout y operar sin improvisación.		
Diseño de labores • Cielo abierto: altura de banco, berma, ángulo y drenaje. • Subterránea: secciones razonables, control del agua y estabilidad de techo y hastiales.		Bombeo, tratamiento y recirculación Ubicar cámaras seguras, contar con bombas de respaldo, construir pozas de sedimentación y priorizar recirculación, tratamiento y reúso eficiente del agua.		Valor y seguridad El diseño protege el valor del mineral con control de ley y reconciliación, e integra rutas de evacuación, señalización, áreas seguras y gestión del riesgo.		
Sostenimiento, estériles y monitoreo El soporte se define por tipo de labor y clase de terreno; botaderos y estériles se diseñan con drenaje y estabilidad; el monitoreo verifica que el diseño siga siendo válido.		Aguas superficiales Diseñar canales perimetrales, cunetas y rutas de evacuación para evitar arrastre de sedimentos y descargas directas al cauce principal.		Cierre y formalización Incorporar recuperación progresiva, control de erosión, drenajes postcierre y planos legibles para un diseño auditable, verificable y mejorable.		
REGLA GENERAL: DISEÑAR PARA OPERAR Y CONTROLAR, NO PARA IMPROVISAR						



5.1 Consideraciones geotécnicas mínimas

La geotecnia en el diseño minero responde una pregunta simple y decisiva:

¿el terreno se mantendrá estable en las condiciones reales de trabajo?

Para oro en pequeña minería, la geotecnia debe enfocarse en estabilidad de labores, control de caída de rocas, diseño del sostenimiento y manejo de botaderos/escombreras. No es un anexo: es un requisito básico de seguridad minera.

5.1.1 Información geotécnica mínima

En proyectos de pequeña minería de oro de filón no siempre es posible desarrollar campañas geotécnicas extensas; sin embargo, debe disponerse de información suficiente para sustentar las decisiones relacionadas con el diseño geométrico de las excavaciones, la estabilidad del macizo rocoso y la definición de las medidas de sostenimiento.

La **Tabla 5-2** presenta la información geotécnica mínima que debe recopilarse para apoyar el diseño de mina. Estos elementos constituyen la base para evaluar las condiciones de estabilidad y establecer los parámetros técnicos requeridos para el desarrollo seguro de la explotación.

Tabla 5-2

Componentes para la caracterización del macizo rocoso

Observación	mapeo geotécnico sistemático en frentes, taludes o labores: discontinuidades (diaclasas, fallas), orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, rellenos, alteración y presencia de agua.
Clasificación del macizo rocoso	por ejemplo, RMR/Q/GSI) para traducir observaciones en decisiones de soporte y geometría.
Ensayos simples y realistas	(si es posible): resistencia (UCS), densidad, durabilidad/alteración, y verificación de calidad del macizo (RQD si hay testigos, o proxies si no).
Registro de inestabilidades históricas	caídas de roca, derrumbes, “zonas malas”, reactivación de fracturas, deformaciones, fallas por lluvia. Ese historial vale oro porque muestra el “comportamiento real” del terreno.

La información geotécnica recopilada debe traducirse en parámetros de diseño que permitan definir, entre otros aspectos, los ángulos de talud, las alturas de banco, las dimensiones de las excavaciones, los sistemas de sostenimiento, el espaciamiento de los elementos de soporte y los factores de seguridad aplicables al proyecto.

5.1.2 El control estructural y su efecto directo en el diseño

Las estructuras geológicas constituyen uno de los principales condicionantes del diseño de mina, ya que influyen directamente en la estabilidad de las excavaciones, la orientación de las labores y la selección de las medidas de sostenimiento. Por esta razón, su caracterización debe incorporarse desde las etapas iniciales del planeamiento y reflejarse en el diseño geométrico de la explotación.





El diseño de las excavaciones debe considerar la orientación, persistencia, espaciamento, apertura y condición de las discontinuidades predominantes, con el propósito de evitar configuraciones geométricas que favorezcan mecanismos de inestabilidad. Cuando estas condiciones no puedan evitarse, deberán implementarse medidas de control como la modificación de la geometría de excavación, la reducción de los ángulos de talud,

el diseño de bermas de seguridad o la instalación de sistemas de sostenimiento acordes con las condiciones geomecánicas del macizo rocoso.

La **Tabla 5-3** presenta los principales aspectos del control estructural que deben evaluarse durante el diseño de mina y su influencia sobre la estabilidad de las excavaciones y la selección de las medidas de sostenimiento.

Tabla 5-3
Condición estructural

Condición estructural	Riesgo operativo	Implicación en el diseño
Fallas con gouge arcilloso (del inglés fault gouge).	Superficies potenciales de deslizamiento en taludes o labores.	Ajustar orientación de excavaciones, reducir ángulos de talud o incorporar sostenimiento.
Zonas intensamente fracturadas.	Sobre-rotura, caída de roca y dilución del mineral.	Controlar geometría de excavación y reforzar sostenimiento.
Alteración hidrotermal con cambios de competencia.	Presencia de sectores de macizo débil dentro de roca competente, con fallas localizadas.	Ajustar dimensiones de excavación y considerar sostenimiento localizado.

5.1.3 Diseño geotécnico para minería a cielo abierto (si aplica)

El diseño geotécnico en minería a cielo abierto tiene como propósito establecer una geometría de explotación compatible con las condiciones del macizo rocoso, la capacidad de los equipos disponibles y los criterios de estabilidad requeridos para una operación segura.

Como mínimo, el diseño debe definir los siguientes aspectos:

- **Altura de banco:** establecida de acuerdo con las características geotécnicas del material, el método de explotación y la capacidad de los equipos de cargue y excavación.
- **Ancho de berma:** determinado para favorecer la retención de material, facilitar las operaciones y contribuir al control de la caída de rocas y de la erosión superficial.

- **Ángulo de talud:** definido a partir de las características geológicas y geotécnicas del macizo rocoso o del suelo, considerando las condiciones de estabilidad a corto y largo plazo.
- **Sistema de drenaje:** diseñado para controlar la escorrentía superficial y la infiltración de agua, reduciendo la pérdida de resistencia de los materiales y los procesos erosivos.

La estabilidad de los taludes depende de la interacción entre la geometría de explotación, las propiedades geomecánicas del material, las condiciones hidrogeológicas, el sistema de drenaje y las condiciones operacionales del proyecto, por lo que estos factores deben evaluarse de manera integrada durante el diseño.

5.1.4 Diseño geotécnico para minería subterránea

En proyectos de pequeña minería subterránea de oro de filón, el diseño geotécnico tiene como finalidad definir las dimensiones de las excavaciones y los sistemas de sostenimiento que garanticen condiciones adecuadas de estabilidad y seguridad durante el desarrollo, preparación y explotación del yacimiento.

Para ello, el diseño debe considerar las características geomecánicas del macizo rocoso, la geometría del cuerpo mineralizado, el estado de esfuerzos, la presencia de discontinuidades, las condiciones

hidrogeológicas y la secuencia prevista de explotación, con el fin de establecer secciones de excavación compatibles con la capacidad resistente del macizo y con los requerimientos operacionales de la mina.

La **Figura 5-3** presenta la integración de las principales variables geotécnicas que intervienen en la toma de decisiones para el diseño de excavaciones subterráneas y la definición de los sistemas de sostenimiento.

Figura 5-3
Mezcla de decisiones



De tal manera, es imprescindible integrar el sostenimiento como parte obligatoria del ciclo de excavación y no aplicarse después de la excavación. La siguiente Tabla 54, resume decisiones clave de diseño y su impacto en la estabilidad y operación minera.

Tabla 5-4
Decisiones de diseño

Decisión de diseño	Criterio técnico	Riesgo que controla
Sección y forma de las labores	Definir dimensiones acordes al equipo de transporte, ventilación y flujo de material.	Secciones excesivas aumentan exposición del macizo y demanda de soporte; secciones reducidas dificultan operación y evacuación.
Secuencia de avance	Planificar el orden de excavación para mantener confinamiento del macizo.	Apertura simultánea de múltiples labores puede generar inestabilidad en macizos fracturados.
Sostenimiento oportuno	Integrar el soporte como parte del ciclo de excavación.	Evitar caídas de roca y degradación del macizo por retraso en la instalación del soporte.

La **Figura 5-4** presenta el ciclo básico de excavación, resaltando la necesidad de incorporar el sostenimiento desde las etapas iniciales del diseño y durante todo el ciclo operativo de la explotación minera.

Figura 5-4

Ciclo básico de Excavación



Durante el diseño geotécnico deberán reconocerse y evaluarse, como mínimo, los siguientes aspectos críticos:

- Sectores con macizo rocoso competente y zonas con macizo degradado, afectadas por procesos de alteración, fracturamiento o meteorización.
- Presencia de agua subterránea, evidenciada mediante goteos, filtraciones, chorros o humedad permanente, debido a su influencia sobre la resistencia del macizo rocoso y la estabilidad de las excavaciones.
- Riesgo de caída de roca en techos y hastiales, definiendo las medidas de control requeridas mediante inspecciones sistemáticas, desquinche (scaling) y sistemas de sostenimiento acordes con las condiciones geomecánicas identificadas.

5.1.4.1 Diseño de explotaciones subterráneas de oro de filón

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, la selección del método de explotación debe responder a las características geológicas, estructurales y geomecánicas del yacimiento, buscando garantizar condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad y recuperación del recurso mineral.

Entre los métodos de explotación más utilizados se encuentran:

Cámaras y pilares

Consiste en la extracción del mineral dejando pilares de roca mineralizada o estéril que proporcionan soporte al macizo rocoso. Este método resulta apropiado para vetas de espesor medio y macizos rocosos con condiciones geomecánicas favorables.

Corte y relleno (ascendente o descendente)

Consiste en la explotación secuencial del mineral por niveles, rellenando progresivamente los espacios excavados con material estéril o relleno diseñado para mantener la estabilidad de las excavaciones. Es especialmente recomendable en vetas angostas y de alta ley, donde el control de la dilución constituye un aspecto determinante para la rentabilidad del proyecto.

Como mínimo, el diseño de explotaciones subterráneas deberá incluir:

- Descripción y justificación técnica del método de explotación seleccionado.
- Dimensiones de cámaras, pilares y demás excavaciones principales.
- Diseño de accesos, incluyendo bocaminas, galerías, cruceros, inclinados, tambores y demás labores de desarrollo y preparación.

- Plano general de la mina subterránea.
- Plano de la secuencia anual de desarrollo, preparación y explotación.

En depósitos vetiformes de oro es frecuente que la distribución espacial de las leyes presente una alta variabilidad. Por esta razón, el método de explotación debe favorecer la extracción selectiva del mineral, minimizando la dilución y la incorporación innecesaria de material estéril. En vetas angostas, métodos como el corte y relleno permiten preservar la ley de alimentación a planta y mejorar el desempeño global del proceso de beneficio, aun cuando la producción de toneladas sea menor.

5.1.4.2 Diseño de explotaciones a cielo abierto (stockwork)

Cuando las condiciones geológicas y geométricas del yacimiento permitan la explotación superficial, el diseño deberá garantizar condiciones adecuadas de estabilidad geotécnica, seguridad operacional y aprovechamiento eficiente del recurso mineral.

Entre los métodos más utilizados en pequeña minería se encuentran:

Explotación por bancos descendentes

Consiste en el desarrollo progresivo del tajo mediante bancos de explotación cuya geometría se establece con base en el estudio geotécnico y las características operacionales del proyecto.

Tajos superficiales sobre vetas aflorantes

Corresponden a excavaciones de menor extensión desarrolladas sobre vetas subaflorantes, manteniendo condiciones de estabilidad compatibles con la calidad geomecánica del macizo rocoso.

Como mínimo, el diseño deberá presentar:

Plano general de los tajos con el nivel de detalle requerido para el proyecto.

Alturas de banco, ángulos de talud y dimensiones de bermas.

Sistema de drenaje superficial.

Plano de la secuencia anual de avance de bancos y manejo progresivo de materiales estériles.

El diseño deberá minimizar la sobre excavación y el sobre corte, con el propósito de reducir la dilución del mineral, optimizar el movimiento de materiales y evitar incrementos innecesarios en los costos de explotación y beneficio.

5.1.4.3 Diseño minero y dimensionamiento geométrico

La definición del método de explotación y del dimensionamiento geométrico de las excavaciones debe fundamentarse en los resultados de los estudios geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos, garantizando que la configuración de la mina sea compatible con las condiciones del yacimiento y con los criterios de seguridad establecidos para la operación.

Como mínimo, el diseño deberá incluir:

1. Especificación del sistema y del método de explotación adoptado.
2. Justificación técnica de su selección en función del tipo de depósito aurífero y de las características del yacimiento.
3. Dimensionamiento geométrico de las excavaciones, incluyendo, según corresponda:
 - Altura de bancos.
 - Ángulos de talud.
 - Bermas de seguridad.





- Secciones de galerías.
- Dimensiones de cámaras y pilares.
- Espaciamiento entre labores.
- Dimensiones de canales, pozos u otras excavaciones asociadas al método de explotación.
- Diseño de las labores de desarrollo y preparación, incluyendo galerías, cruceros, inclinados, tambores y demás excavaciones requeridas para la explotación.
- Planos técnicos del proyecto, como mínimo:
- Plano general de la mina.
- Plano anual de desarrollo, preparación y explotación.

En consecuencia, el diseño deberá establecer, como mínimo:

- Clasificación de las labores permanentes y temporales.
- Sistemas de sostenimiento requeridos para cada tipo de excavación.
- Criterios técnicos para modificar o reforzar el sostenimiento cuando se evidencien cambios en las condiciones del macizo rocoso, tales como incremento de la convergencia, caída recurrente de roca, aparición de agua o apertura de discontinuidades.

5.1.5 Sostenimiento como componente de diseño (no como “reacción”)

El sostenimiento debe incorporarse como un componente integral del diseño de mina y no como una medida correctiva implementada después de presentarse problemas de estabilidad. Su definición debe responder a las características geomecánicas del macizo rocoso, a la función de cada excavación y a la vida útil prevista para las labores mineras.

En proyectos de pequeña minería resulta recomendable clasificar el macizo rocoso en categorías geotécnicas (por ejemplo: competente, regular y deficiente) y asociar a cada una criterios de excavación, dimensiones máximas de las labores y sistemas de sostenimiento. Este enfoque facilita la aplicación práctica de los criterios geotécnicos durante la operación y fortalece la gestión del riesgo asociado a la estabilidad de las excavaciones.

La **Tabla 5-5** presenta una propuesta de criterios prácticos para la selección de sistemas de sostenimiento de acuerdo con la calidad geomecánica del macizo rocoso.

Tabla 5-5

Sostenimiento por condición de terreno

Condición	Señales en campo	Riesgos	Sostenimiento mínimo	Restricciones operativas	Frecuencia de inspección
Bueno	Roca competente, pocas fracturas, seco	Caída puntual.	Pernos/mallas puntuales (si aplica).	Avance normal.	Semanal.
Regular	Fracturas moderadas, humedad	Cuñas / desprendimientos.	Pernos + malla + cuadro donde aplique.	Limitar avance.	Diaria.
Malo	Muy fracturado, agua, arcillas	Colapso / derrumbe.	Cuadros + entibado reforzado + cierre de área.	Acceso restringido.	Por turno.



5.1.6 Botaderos, escombreras y depósitos de estéril: geotecnia que suele olvidarse

Los botaderos, escombreras y depósitos de material estéril constituyen estructuras geotécnicas que deben incorporarse desde las etapas de diseño de mina, debido a que su estabilidad influye directamente en la seguridad de la operación, la protección ambiental y la continuidad de las actividades mineras.

Su diseño debe fundamentarse en la caracterización geotécnica del terreno de cimentación, las propiedades del material a disponer, las condiciones hidrogeológicas, el sistema de drenaje y la geometría proyectada del depósito, con el propósito de prevenir procesos de inestabilidad, erosión, asentamientos y fallas estructurales.

La **Tabla 5-6** presenta los principales criterios técnicos que deben considerarse para el diseño de botaderos, escombreras y depósitos de estéril, orientados a garantizar condiciones adecuadas de estabilidad geotécnica y reducir los riesgos asociados a su construcción y operación.

Tabla 5-6
matriz estratégica de diseño geotécnico del botadero

Componente de diseño	Criterio técnico	Riesgo que controla
Selección del sitio	Ubicar el botadero sobre fundaciones estables, alejadas de cauces y con pendientes adecuadas.	Inestabilidad de fundación y afectación a cuerpos de agua.
Drenaje superficial	Implementar cunetas, disipadores y control de erosión.	Saturación del material, erosión y deslizamientos.
Control de geometría	Definir altura del depósito y ángulo de talud adecuados.	Inestabilidad global del botadero.
Manejo de finos	Controlar acumulación de finos y su exposición a lluvia.	Licuación local y arrastre de material.

El diseño de estas estructuras deberá integrarse al planeamiento minero y al manejo de materiales estériles definido para el proyecto, asegurando su compatibilidad con la secuencia de explotación, la capacidad de disposición y las medidas de manejo ambiental previstas durante la vida útil de la mina.

5.1.7 Monitoreo geotécnico mínimo para que el diseño siga siendo válido

El diseño geotécnico debe verificarse de manera continua durante la operación minera, con el fin de confirmar que las condiciones reales del macizo rocoso y de las excavaciones permanecen dentro de los criterios considerados durante la etapa de diseño. En consecuencia, el monitoreo geotécnico constituye una herramienta fundamental para identificar oportunamente cambios en las condiciones de estabilidad y definir, cuando sea necesario, ajustes en el diseño o en las medidas de sostenimiento.

Como mínimo, el monitoreo geotécnico deberá contemplar:

- Inspecciones periódicas de excavaciones, taludes y frentes de explotación.
- Verificación del estado de los sistemas de sostenimiento.
- Identificación de nuevas discontinuidades, zonas de fracturamiento o procesos de alteración del macizo rocoso.
- Observación de filtraciones, goteos, incremento del caudal o cambios en las condiciones hidrogeológicas.
- Registro de deformaciones, caída de roca, desprendimientos u otros indicadores de inestabilidad.
- Actualización de los planos y registros técnicos cuando las condiciones de la explotación difieran de las consideradas en el diseño inicial.

La **Figura 5-5** presenta el ciclo general de monitoreo geotécnico propuesto para verificar las condiciones de estabilidad de la operación y retroalimentar el diseño de mina durante su desarrollo.

Figura 5-5
Ciclo básico de Excavación



En la **Tabla 5-7** se observa los elementos de monitoreo geotécnico, el cual permite verificar que las condiciones reales del macizo siguen siendo compatibles con el diseño de la mina.

Tabla 5-7
Matriz de monitoreo mínimo

Elemento de monitoreo	Acción	Propósito
Inspección diaria	Revisar sostenimiento, techos, hastiales y taludes mediante checklist simple.	Detectar señales tempranas de inestabilidad.
Registro de eventos	Documentar caídas de roca, grietas nuevas o flujos de agua.	Identificar cambios en el comportamiento del macizo.
Puntos de control visual	Instalar marcas o testigos en zonas críticas.	Observar desplazamientos o deformaciones.
Reglas de cierre de área	Definir criterios para detener la operación ante señales de riesgo.	Prevenir accidentes y fallas mayores.



5.2 Consideraciones hidrogeológicas

Las condiciones hidrogeológicas constituyen un componente esencial del diseño de mina, debido a que influyen directamente en la estabilidad de las excavaciones, la seguridad operacional, la continuidad de la producción y el desempeño ambiental del proyecto. La presencia de agua superficial o subterránea puede modificar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, incrementar el riesgo de inundaciones y afectar el funcionamiento de las labores mineras y de la planta de beneficio. En consecuencia, el diseño de mina debe integrar las medidas necesarias para la captación, conducción, drenaje, bombeo, tratamiento, recirculación y disposición controlada de las aguas generadas durante la explotación, procurando un uso eficiente del recurso hídrico y el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable.

Este numeral presenta los principales criterios técnicos para incorporar el componente hidrogeológico en el diseño de proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Como parte del diseño, se recomienda:

- Integrar el manejo del agua con el diseño del circuito de beneficio, priorizando la recirculación y el uso eficiente del recurso hídrico.
- Evitar que las aguas provenientes del proceso de beneficio o del lavado de minerales sean descargadas sin tratamiento a cuerpos de agua superficiales.
- Promover la sustitución o eliminación del uso de mercurio y garantizar el manejo seguro de los reactivos autorizados conforme a la normativa vigente.

5.2.1 Caracterización de aguas superficiales y subterráneas

La caracterización hidrogeológica tiene como propósito identificar las fuentes de agua superficial y subterránea que pueden influir en el desarrollo de la explotación minera, así como comprender su interacción con el macizo rocoso y con las excavaciones proyectadas.

En depósitos vetiformes de oro, las fallas, fracturas, zonas de cizalla y contactos litológicos constituyen las principales vías de circulación del agua subterránea. Asimismo, las labores antiguas inundadas pueden representar fuentes potenciales de ingreso de agua y generar condiciones de riesgo durante el desarrollo de nuevas excavaciones.

La información obtenida durante esta etapa constituye la base para el diseño de los sistemas de drenaje, desagüe, bombeo y manejo de aguas del proyecto.

Como mínimo, la caracterización deberá incluir:

- Identificación de ríos, quebradas, drenajes naturales y áreas susceptibles de inundación.
- Localización de captaciones de agua para uso minero y de los puntos actuales o potenciales de descarga.
- Registro de manantiales, surgencias, filtraciones y zonas húmedas presentes en las labores mineras.
- Identificación de labores antiguas inundadas y otras fuentes potenciales de ingreso de agua.
- Diferenciación entre aguas limpias, aguas de escorrentía y aguas provenientes del proceso de beneficio.



5.2.2 Manejo de aguas superficiales

El manejo de las aguas superficiales tiene como objetivo controlar la escorrentía, reducir los procesos erosivos y evitar el ingreso innecesario de agua a las labores mineras y a las instalaciones de beneficio.

El diseño deberá contemplar sistemas de conducción que permitan separar las aguas limpias de las aguas potencialmente contaminadas, minimizando el arrastre de sedimentos y facilitando su tratamiento cuando sea requerido.

Como mínimo, deberán considerarse las siguientes medidas:

Canales y control de escorrentía

- Construcción de canales perimetrales y cunetas para desviar las aguas de escorrentía alrededor de las áreas de explotación y beneficio.
- Protección de bocaminas, patios de almacenamiento, botaderos y demás instalaciones frente al ingreso de aguas lluvias.
- Implementación de estructuras para el control de erosión y el transporte de sedimentos.
- Mantenimiento periódico de canales, cunetas y obras hidráulicas.

Rutas de evacuación superficial

El diseño deberá definir las rutas de conducción del agua hacia estructuras de sedimentación, almacenamiento o tratamiento, evitando descargas directas sobre cuerpos de agua naturales.

En sectores con pendientes pronunciadas deberán incorporarse estructuras disipadoras de energía que reduzcan la velocidad del flujo y disminuyan el potencial erosivo.

5.2.3 Manejo de aguas subterráneas y desagüe minero

El sistema de drenaje subterráneo debe diseñarse para controlar el ingreso, conducción y evacuación del agua infiltrada durante la explotación minera, garantizando condiciones adecuadas de seguridad y continuidad operacional.

Las galerías, inclinados y demás labores deberán proyectarse de manera que faciliten el drenaje por gravedad hacia sumideros estratégicamente localizados, desde donde el agua pueda ser evacuada mediante sistemas de bombeo cuando sea necesario.

Como mínimo, el diseño deberá considerar:

Sistema de drenaje interno

- Pendientes adecuadas en galerías y rampas para favorecer el drenaje gravitacional.
- Cunetas laterales o centrales para la conducción del agua.
- Sumideros localizados en los puntos bajos de la explotación.
- Representación en planos de las rutas de drenaje y de los puntos de bombeo.
- Monitoreo de incrementos de caudal en sectores asociados con fallas geológicas o zonas altamente fracturadas.

Estaciones de bombeo

Las estaciones de bombeo constituyen el principal componente del sistema de desagüe cuando el drenaje por gravedad no es suficiente para evacuar el agua de la explotación.

Su localización deberá considerar criterios de estabilidad geotécnica, accesibilidad para operación y mantenimiento, y protección frente a inundaciones o desprendimientos de roca.

Como mínimo, se recomienda:

- Ubicar las estaciones de bombeo en cámaras estables, seguras y de fácil acceso.
- Diseñar la capacidad de bombeo con base en los caudales esperados durante la operación y en escenarios de máxima infiltración o lluvias intensas.
- Disponer, como mínimo, de una bomba principal y una bomba de respaldo para garantizar la continuidad del sistema.
- Incorporar rejillas, trampas de sólidos o pozos de sedimentación que reduzcan el ingreso de arenas y lodos a las bombas.
- Conducir el agua bombeada hacia las estructuras de tratamiento antes de cualquier vertimiento autorizado.

5.2.4 Tratamiento, recirculación y almacenamiento de agua

El sistema de manejo de aguas deberá incorporar medidas para controlar los sedimentos, optimizar el uso del recurso hídrico y minimizar los vertimientos al medio ambiente. Para ello, el diseño deberá contemplar estructuras de sedimentación, sistemas de recirculación y reservorios que permitan reutilizar el agua de proceso siempre que las condiciones técnicas lo permitan.

Como mínimo, se recomienda:

- Construir pozas o sedimentadores para retener los sólidos suspendidos.
- Implementar circuitos cerrados o semicerrados de recirculación del agua de proceso.
- Separar los reservorios de agua limpia de los reservorios de agua de proceso.

- Incorporar sistemas de tratamiento específicos cuando se utilicen reactivos químicos, de conformidad con la normativa ambiental vigente.

5.2.5 Monitoreo hidrogeológico

El monitoreo hidrogeológico permite verificar el desempeño del sistema de manejo de aguas y detectar oportunamente cambios que requieran ajustes en el diseño o en la operación minera.

Como mínimo, deberá contemplarse:

Monitoreo periódico del caudal y la calidad del agua en captaciones, drenajes y puntos de descarga.

Inspección y mantenimiento de canales, cunetas, estaciones de bombeo, sedimentadores y reservorios.

Registro de eventos de inundación, reboses, fallas de bombeo o incrementos anómalos de caudal.

Actualización del sistema de manejo de aguas cuando las condiciones hidrogeológicas de la explotación así lo requieran.

5.3 Consideraciones ambientales

El diseño de proyectos de pequeña minería de oro de filón debe incorporar, desde las etapas iniciales del planeamiento minero, las determinantes ambientales y territoriales que puedan influir en la viabilidad del proyecto. Para ello, es necesario identificar las áreas excluidas o restringidas para la actividad minera, las áreas de especial importancia ambiental y los instrumentos de ordenamiento territorial aplicables al área de influencia.

Estas consideraciones deben integrarse con los componentes geológico, geotécnico e hidrogeológico del diseño de mina, con el fin de prevenir conflictos de uso del suelo, reducir riesgos ambientales y orientar el desarrollo de la explotación conforme a los principios de sostenibilidad y a la normativa vigente.



Asimismo, el titular minero deberá identificar la autoridad ambiental competente de acuerdo con la jurisdicción del proyecto. Las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y demás autoridades ambientales son responsables de definir las determinantes ambientales, regular los permisos y autorizaciones aplicables, establecer las áreas de especial importancia ecológica y orientar la gestión del riesgo dentro de su ámbito territorial.

Este capítulo se centra en la identificación preventiva de las determinantes ambientales y territoriales como insumo para el planeamiento minero. Las medidas de prevención, manejo, mitigación, compensación y seguimiento ambiental se desarrollan en el **Capítulo 7. Gestión Ambiental**.

Figura 5-6
Determinantes ambientales para planeamiento minero



5.3.1 Gestión de áreas de exclusión y restricción minera

La identificación de las áreas de exclusión y restricción minera constituye una actividad fundamental durante las etapas iniciales del planeamiento minero, ya que permite establecer la viabilidad territorial y ambiental del proyecto, así como identificar las condiciones que deberán ser consideradas durante su diseño y desarrollo.

Figura 5-7

Consulta anticipada y obligatoria
como determinante ambiental



123

Áreas de exclusión minera

Las áreas de exclusión minera corresponden a zonas donde la legislación vigente prohíbe el desarrollo de actividades de exploración y explotación minera debido a su especial importancia ambiental o a restricciones expresamente establecidas por la normatividad.

La identificación de estas áreas deberá realizarse mediante la consulta de la cartografía oficial y de la información suministrada por las autoridades competentes, verificando la posible superposición del proyecto con áreas protegidas o con otras zonas sujetas a exclusión legal.

Áreas de restricción minera

Las áreas de restricción minera corresponden a territorios donde la actividad minera puede desarrollarse únicamente bajo condiciones específicas establecidas por la legislación o por las autoridades competentes. En estos casos, la ejecución del proyecto puede requerir estudios adicionales, permisos, autorizaciones o el cumplimiento de requisitos particulares.

Entre las principales áreas de restricción se encuentran:

- Distritos de Manejo Integrado (DMI).
- Áreas de recarga hídrica.
- Zonas con amenaza alta por movimientos en masa u otros riesgos naturales.
- Territorios con presencia de comunidades étnicas, cuando resulte aplicable el procedimiento de consulta previa.
- Otras áreas con condicionantes ambientales o territoriales definidas por la autoridad competente.

La identificación temprana de estas áreas permite incorporar las determinantes ambientales y territoriales al planeamiento minero, reducir riesgos durante el desarrollo del proyecto y facilitar el cumplimiento de los requisitos técnicos, ambientales y sociales aplicables.

La **Figura 5-8** presenta las principales restricciones ambientales y territoriales que deben considerarse durante el proceso de planeamiento minero.

Figura 5-8

Principales restricciones ambientales aplicables al planeamiento minero.



5.3.2 Articulación del proyecto minero con el ordenamiento territorial

El planeamiento minero debe armonizarse con los instrumentos de ordenamiento territorial y de planificación ambiental aplicables al área de influencia del proyecto, con el fin de asegurar la compatibilidad entre la actividad minera, los usos del suelo y las determinantes ambientales y territoriales establecidas por las autoridades competentes.

Entre los principales instrumentos que deben consultarse 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).

Como parte del proceso de planeamiento, se recomienda:

- Verificar la compatibilidad del proyecto con la clasificación y los usos del suelo definidos en los instrumentos de ordenamiento territorial.
- Incorporar las determinantes ambientales, las zonas de protección y las áreas con restricciones para el desarrollo de infraestructura minera.
- Promover la articulación temprana con las autoridades territoriales y ambientales durante las etapas de formulación y desarrollo del proyecto.

5.3.3 Gestión determinantes ambientales

Las determinantes ambientales corresponden a disposiciones de obligatorio cumplimiento que condicionan el uso y ocupación del territorio, y que deben incorporarse desde las etapas iniciales del planeamiento minero para orientar el diseño y desarrollo del proyecto conforme a la normativa vigente.

Como mínimo, se recomienda:

- Identificar las determinantes ambientales emitidas por las autoridades competentes, incluyendo la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), cuando corresponda, y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR).
- Integrar dichas determinantes desde las etapas de prefactibilidad y diseño del proyecto.
- Incorporar criterios para el uso eficiente del recurso hídrico, el control de emisiones atmosféricas, el manejo adecuado de estériles y relaves y la restauración progresiva de las áreas intervenidas.

5.3.4 Gestión de áreas de importancia ambiental

Las áreas de importancia ambiental corresponden a ecosistemas y territorios que prestan servicios ecosistémicos esenciales o presentan un alto valor para la conservación de la biodiversidad. Su identificación temprana permite orientar el diseño de mina hacia alternativas que reduzcan la intervención sobre estos espacios y faciliten el cumplimiento de la normativa ambiental.

Entre ellas pueden encontrarse bosques andinos, zonas de recarga hídrica, corredores o áreas de conectividad ecológica y otras áreas priorizadas para la conservación por las autoridades ambientales.

Como parte del planeamiento minero, se recomienda:

- Incorporar la información de la línea base ambiental en el proceso de diseño.
- Aplicar la jerarquía de mitigación, priorizando evitar y minimizar la intervención sobre ecosistemas estratégicos.
- Implementar programas de restauración ecológica con especies nativas en las áreas intervenidas.
- Integrar el cierre progresivo de la mina y las actividades de rehabilitación desde las etapas iniciales del proyecto.

5.4 Recomendaciones transversales de diseño

Las siguientes recomendaciones integran los componentes geológico, geotécnico, hidrogeológico, ambiental y operacional del diseño de mina, con el propósito de fortalecer el planeamiento minero y facilitar el cumplimiento de los requisitos técnicos, de seguridad y de formalización aplicables a la pequeña minería de oro de filón.

5.4.1 El diseño debe fundamentarse en la caracterización del yacimiento

El diseño de mina debe sustentarse en la información obtenida durante la caracterización geológica, geotécnica, hidrogeológica, ambiental y minera del yacimiento. La calidad y suficiencia de esta información determinan la confiabilidad de las decisiones relacionadas con el método de explotación, el dimensionamiento de las labores, el manejo de aguas, la estabilidad geotécnica y la planificación de la operación.



La **Figura 5-9** presenta la relación entre la caracterización del yacimiento y las principales decisiones de diseño que deben adoptarse durante el proceso de planeamiento minero.

Figura 5-9

Aspectos a tener en cuenta en el diseño



126

ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO



- Qué información topográfica se usó y con qué precisión (porque todo el diseño depende de cotas, pendientes y distancias).
- Qué modelo geológico se adoptó y cuáles son sus incertidumbres (para no diseñar "como si el mineral fuera perfecto").
- Qué supuestos de ley, dilución y recuperación se usaron (porque eso define si el diseño es rentable).
- Qué restricciones ambientales/sociales condicionan el área e infraestructura.

5.4.2 La secuencia de explotación como herramienta de planeamiento de explotación: el orden es parte del diseño

Mientras el diseño de mina establece dónde y cómo se desarrollará la explotación, el planeamiento minero define cuándo deberá ejecutarse cada actividad durante la vida útil del proyecto. En consecuencia, la secuencia de explotación constituye el vínculo entre el diseño y la programación de la operación minera.

La secuencia anual deberá organizar el avance de los frentes de explotación de manera que garantice condiciones adecuadas de seguridad, estabilidad geotécnica, continuidad operacional y suministro de mineral a la planta de beneficio.

Como mínimo, se recomienda que la secuencia de explotación:

- Mantenga una alimentación estable de mineral en términos de tonelaje y ley.
- Programe el desarrollo, la preparación y la explotación de las labores de forma coordinada.
- Integre el manejo de estériles, botaderos, aguas y demás actividades auxiliares.
- Considere las restricciones geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas y ambientales identificadas durante el diseño.

La **Figura 5-10** presenta la relación entre el diseño de mina y la secuencia de explotación propuesta para el proyecto.

Figura 5-10
Lógica de explotación minera



5.4.3 Integración del método de explotación con el proceso de beneficio

En proyectos de pequeña minería de oro de filón, el método de explotación y el proceso de beneficio deben concebirse como componentes complementarios de un mismo sistema productivo. Las decisiones adoptadas durante el diseño de mina influyen directamente en la recuperación metalúrgica, la dilución, la fragmentación del mineral, la generación de estériles y relaves, así como en los costos operacionales.

Por esta razón, la selección del método de explotación deberá ser coherente con las características del yacimiento, la capacidad operativa de la mina y los requerimientos de la planta de beneficio, procurando maximizar la recuperación del recurso mineral y minimizar las pérdidas durante la explotación y el procesamiento.

El Documento Técnico deberá incluir, como mínimo:

- La justificación técnica del método de explotación seleccionado.
- El diseño y dimensionamiento general de la mina.
- La descripción de las labores de desarrollo, preparación y explotación.
- Los planos del diseño de mina y de la secuencia anual de explotación.
- La articulación entre la producción minera y la capacidad de procesamiento de la planta de beneficio.

La **Figura 5-11** presenta los principales criterios técnicos para la selección del método de explotación en proyectos de pequeña minería de oro de filón. Su evaluación integrada permite seleccionar la alternativa más adecuada de acuerdo con las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas, operacionales y de beneficio del yacimiento.

Figura 5-11
Condiciones para la selección de métodos de explotación





La secuencia de explotación deberá garantizar un suministro continuo y técnicamente adecuado de mineral hacia la planta de beneficio, considerando la variación de leyes, la capacidad de procesamiento y el manejo de estériles y relaves. Para ello, se recomienda que la programación de la explotación: Mantenga una alimentación estable de mineral en términos de tonelaje y ley.

Combine frentes de explotación de diferentes características para reducir la variabilidad del proceso de beneficio.

Se articule con el manejo de estériles y relaves, evitando generar materiales que excedan la capacidad operativa de la planta.

La **Figura 5-12** presenta un esquema de integración entre la selección del método de explotación, la secuencia de explotación y el proceso de beneficio, ilustrando la relación entre estos componentes durante el planeamiento minero de proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Figura 5-12

Condiciones para la selección de métodos de explotación



5.4.4 Actividades de la operación minera

Las actividades de la operación minera comprenden los procesos mediante los cuales el mineral y el material estéril son extraídos, cargados, transportados y conducidos hacia los puntos de procesamiento o disposición final. Su diseño debe ser coherente con el método de explotación seleccionado, las características del yacimiento y la capacidad operativa de la mina, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, eficiencia y continuidad operacional.

5.4.4.1 Arranque y cargue del material

El sistema de arranque y cargue deberá definirse de acuerdo con el método de explotación, el grado de mecanización y las condiciones geológicas y geotécnicas del yacimiento.

El Documento Técnico deberá describir, como mínimo:

- El método de arranque del mineral y del estéril (manual, semimecanizado o mecanizado).
- Los equipos y herramientas utilizados para el arranque y el cargue.
- El uso de explosivos, cuando aplique, incluyendo el esquema general de perforación y voladura.
- El sistema de cargue y la diferenciación entre mineral y estéril.
- Las principales medidas de seguridad durante estas actividades.

5.4.4.2 Transporte interno del mineral y estéril

El transporte interno deberá garantizar el traslado seguro y eficiente del mineral y del estéril desde los frentes de explotación hasta los puntos de almacenamiento, beneficio o disposición final.

El Documento Técnico deberá incluir:

- Los medios de transporte utilizados.
- Los recorridos internos y las distancias aproximadas de transporte.
- La capacidad de los equipos y su disponibilidad operativa.
- El flujo general del material dentro de la operación minera.

La **Figura 5-13** presenta un esquema general del flujo del mineral y del estéril durante la operación. Servicios de la Mina

Los servicios de la mina corresponden al conjunto de sistemas e infraestructura que permiten el desarrollo seguro y continuo de la operación minera. Su diseño deberá ser consistente con las características de la explotación y con los criterios técnicos definidos en los numerales anteriores.

5.4.5 Sistema de energía y electrificación

El sistema de electrificación deberá garantizar el suministro continuo y seguro de energía para la operación de los equipos mineros, la planta de beneficio y los servicios auxiliares.

Como mínimo, el Documento Técnico deberá definir:

- La fuente de suministro de energía.



- Los principales equipos consumidores.
- La distribución general de la red eléctrica.
- Las medidas de protección y seguridad eléctrica implementadas.



130

5.4.5.2 Manejo y control de aguas

El manejo de aguas deberá desarrollarse de acuerdo con el diseño hidrogeológico establecido en el numeral 5.2, integrando las obras de captación, drenaje, bombeo, tratamiento y recirculación requeridas para garantizar la continuidad de la operación y el cumplimiento de los requisitos ambientales.

El Documento Técnico deberá describir el sistema general de manejo de aguas y su articulación con las labores mineras y la planta de beneficio.

5.4.5.3 Sostenimiento y estabilidad de las labores

Las labores mineras deberán ejecutarse conforme al diseño geotécnico y al sistema de sostenimiento definidos para la explotación, garantizando la estabilidad de las excavaciones y la seguridad del personal.

El Documento Técnico deberá identificar el sistema de sostenimiento adoptado, los criterios para su instalación y los procedimientos de inspección y mantenimiento durante la operación.

5.4.5.4 Ventilación (minería subterránea)

En explotaciones subterráneas, el sistema de ventilación deberá garantizar el suministro de aire fresco y la evacuación de gases, polvo y calor, de acuerdo con el diseño de ventilación definido para la mina.

El Documento Técnico deberá describir el circuito general de ventilación, los equipos principales y los mecanismos previstos para el control de la calidad del aire en las labores activas.

5.4.6 Integración de la infraestructura con la operación minera

La infraestructura minera deberá diseñarse en función del flujo operativo del proyecto, asegurando una adecuada articulación entre los frentes de explotación, las vías internas, las áreas de almacenamiento, la planta de beneficio, los botaderos, las obras hidráulicas y los servicios auxiliares.

La disposición de estos elementos deberá favorecer la continuidad de la operación, optimizar el transporte interno de materiales, reducir tiempos improductivos y facilitar el manejo seguro del mineral, el estéril y los insumos requeridos durante la explotación.

La **Figura 5-13** presenta un esquema conceptual de la integración entre la infraestructura y los principales flujos operacionales de una pequeña mina de oro de filón.

Figura 5-13

Flujo Infraestructura



El diseño debe ubicar:

- Vías internas con pendientes razonables, radios de giro realistas y control de drenaje.
- Patios de maniobra y acopio que no queden sobre zonas inestables o inundables.
- Botaderos ubicados por criterios geotécnicos e hidrológicos, no por cercanía.
- Planta de beneficio con acceso seguro, control de aguas y manejo de residuos coherente con el proceso.

5.4.7 Ventilación, electrificación y servicios: si no caben en el diseño, no existen

En las explotaciones subterráneas, los sistemas de ventilación, electrificación y demás servicios de mina constituyen componentes esenciales del diseño minero y deben planificarse de manera integrada desde las etapas iniciales del proyecto. Su adecuada incorporación permite garantizar condiciones seguras de operación, asegurar la continuidad de las actividades mineras y facilitar el funcionamiento de los equipos e instalaciones requeridos durante la explotación.

Estos sistemas deberán diseñarse de forma coordinada con la geometría de las labores, la secuencia de explotación y la infraestructura minera, considerando aspectos como la distribución de energía, el suministro de aire, el drenaje, las comunicaciones y los demás servicios auxiliares necesarios para el desarrollo de la operación.

La **Figura 5-14** presenta un esquema de integración de los principales servicios de mina dentro del diseño de una operación subterránea, destacando la relación entre la ventilación, la electrificación y los demás sistemas que soportan una explotación segura y eficiente.

Figura 5-14

Proceso de buenas prácticas en ventilación



Si la ventilación y los servicios de mina no están definidos en el diseño, la operación termina resolviéndolos de forma improvisada, lo que representa un grave riesgo.

5.4.8 Control de ley y reconciliación minera

El diseño de la mina deberá facilitar el control de ley del mineral durante todas las etapas de la operación, mediante la definición de frentes claramente identificables, la diferenciación entre mineral y estéril, la ubicación de puntos de muestreo y la implementación de mecanismos de trazabilidad del material extraído.

La información obtenida durante la explotación deberá compararse de manera sistemática con las estimaciones del modelo geológico y del planeamiento minero, permitiendo evaluar desviaciones, actualizar los factores de recuperación y mejorar progresivamente la confiabilidad de la operación.

La reconciliación minera constituye una herramienta fundamental para verificar el desempeño del diseño y retroalimentar el proceso de planeamiento, contribuyendo a optimizar la recuperación del recurso y la sostenibilidad técnica y económica del proyecto.

5.4.9 Seguridad minera y gestión del riesgo incorporadas al diseño

La seguridad minera deberá incorporarse desde las etapas de diseño mediante decisiones orientadas a reducir la exposición de los trabajadores a condiciones de riesgo durante la construcción, operación y cierre de la mina.

El diseño deberá considerar, entre otros aspectos, la estabilidad de taludes y excavaciones, la definición de rutas de evacuación, la ubicación de zonas seguras y de exclusión, la señalización de las labores, el control de aguas y la implementación de medidas que minimicen la probabilidad de accidentes asociados a fallas geotécnicas, inundaciones, incendios o atmósferas peligrosas.

La incorporación temprana de estos criterios permite gestionar los riesgos antes del inicio de la explotación y fortalece las condiciones de seguridad durante todo el ciclo de vida del proyecto.

5.4.10 Cierre desde el inicio

El diseño de la mina deberá incorporar desde su concepción criterios de cierre progresivo que permitan recuperar de manera gradual las áreas intervenidas, reducir la generación de pasivos ambientales y facilitar la estabilidad física y ambiental del sitio una vez finalizadas las actividades de explotación. Lo que implica desarrollar:

- Recuperación progresiva (por ejemplo, estabilizar y revegetar áreas ya intervenidas mientras se avanza en otras).
- Manejo de suelos (capa orgánica) y control de erosión.
- Configuración final estable de botaderos y taludes.
- Drenajes postcierre para evitar erosión y arrastre de sedimentos.

- Esto es coherente con el enfoque de plan de cierre presente en la estructura técnica del proyecto.

5.4.11 Coherencia con formalización: Trazabilidad y documentación del diseño minero

El diseño debe poder ser entendido por terceros (autoridad minera, autoridad ambiental, auditoría, asistencia técnica). Eso implica: planos legibles, escalas consistentes, sistemas de referencia correctos, y una narrativa que explique por qué el diseño es el que es. Este enfoque es consistente con los requisitos de entrega de información y con el rol del documento técnico como instrumento de seguimiento y control de operaciones formalizadas.

5.5 Integración de los requisitos de seguridad minera en el planeamiento

La seguridad minera constituye un criterio transversal del planeamiento y debe incorporarse desde las etapas iniciales del diseño de la explotación. En consecuencia, el diseño de la mina deberá integrar los requisitos establecidos en la normativa vigente, de manera que las condiciones proyectadas de operación permitan prevenir accidentes, reducir la exposición a peligros y garantizar condiciones adecuadas para los trabajadores durante todo el ciclo de vida del proyecto.

La incorporación de estos criterios deberá reflejarse en el Documento Técnico y en los planos de diseño de la operación, considerando aspectos relacionados con la ventilación, el sostenimiento, el manejo de explosivos, las rutas de evacuación, el control de aguas, la estabilidad de las excavaciones y los procedimientos de respuesta ante emergencias.



MARCO NORMATIVO APLICABLE

El diseño de la operación minera y el Plan de Trabajos y Obras para la Explotación (PTOD) deberán incorporar los requisitos mínimos establecidos en la normativa vigente en materia de seguridad minera, entre la que se destaca:

- Decreto 1886 de 2015, por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas, y las normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan.
- Decreto 539 de 2022, por el cual se expide el Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto.

Nota: Estas disposiciones establecen los parámetros mínimos de seguridad que deberán reflejarse en el diseño de la mina y en el PTOD.

Planifique el cumplimiento de los siguientes parámetros del reglamento de seguridad minera como parte integral del diseño de la operación aurífera:

a. Planificación del sistema de ventilación

Para las labores mineras subterráneas, el diseño de la ventilación deberá cumplir los requisitos establecidos en el Decreto 1886 de 2015 y las normas que lo modifiquen, adicionen o sustituyan. El planeamiento deberá definir el sistema de ventilación (natural, forzado o mixto), el caudal de aire requerido, la distribución del circuito de ventilación, los métodos de control y monitoreo de gases, polvo y condiciones atmosféricas, así como los procedimientos de inspección y mantenimiento que garanticen condiciones seguras durante toda la operación.

Instrumento — plano de ventilación

El plano deberá incluir, como mínimo:

- Bocaminas y puntos de ingreso de aire fresco.
- Circuito principal y secundario de ventilación.
- Salidas de aire viciado.

- Ubicación y características de ventiladores principales y auxiliares.
- Sentido del flujo de aire.
- Caudales proyectados por sectores o frentes de trabajo.
- Puntos de monitoreo de gases y calidad del aire.
- Este plano deberá hacer parte de la documentación técnica del PTOD.

b. Planificación del sostenimiento

El sistema de sostenimiento deberá definirse desde la etapa de planeamiento de la explotación, considerando las características geomecánicas del macizo rocoso, las dimensiones de las excavaciones, el método de explotación y las condiciones operacionales previstas.

El diseño deberá especificar el tipo de sostenimiento requerido para cada condición de terreno, los criterios para su instalación, las inspecciones periódicas y las medidas de mantenimiento necesarias para preservar la estabilidad de las excavaciones durante la vida útil de la mina.



c. Planeamiento de perforación, voladura y manejo de explosivos

Cuando el proyecto contemple el uso de explosivos, el planeamiento deberá incorporar los procedimientos para su almacenamiento, transporte, manipulación y utilización, de conformidad con la normativa vigente aplicable.

Asimismo, deberá incluir el diseño básico de perforación y voladura, las distancias de seguridad, los protocolos de señalización, los procedimientos de evacuación y las medidas para minimizar los riesgos asociados a esta actividad.

El Plan de Voladura deberá integrarse al PTOD cuando sea aplicable.

d. Planeamiento de rutas de evacuación y atención de emergencias

El diseño de la operación deberá incorporar rutas de evacuación, salidas de emergencia, puntos de encuentro y procedimientos de respuesta ante emergencias, garantizando condiciones que faciliten una evacuación segura de los trabajadores.

En minería subterránea, estas rutas deberán planificarse de acuerdo con las características de la explotación, integrándose a los planos generales de la mina y al Plan de Emergencias.

Diseñar una infografía muy sencilla

Lista de chequeo — Seguridad minera en el planeamiento

- ☐ ¿Los planos de la mina incluyen rutas de evacuación y puntos de encuentro?
 - ☐ ¿Se definieron los equipos de protección personal (EPP) requeridos para cada actividad?
 - ☐ ¿La operación cuenta con un Plan de Prevención, Preparación y Respuesta ante Emergencias acorde con la normativa vigente?
 - ☐ ¿El diseño integra las medidas de higiene, seguridad y salud en el trabajo exigidas por la legislación aplicable?
- ☐ ¿El PTOD incorpora el sistema de ventilación de acuerdo con la normativa vigente?
 - ☐ ¿El diseño contempla el sistema de sostenimiento conforme a las condiciones geomecánicas del macizo?
 - ☐ ¿Se incorporó el Plan de Voladura cuando el proyecto requiere el uso de explosivos?

5.6 Planeamiento del beneficio y transformación del mineral aurífero

El beneficio del mineral constituye una etapa fundamental del ciclo productivo y debe planificarse de manera integrada con el diseño de la explotación. La selección del proceso de beneficio influye directamente en la recuperación metalúrgica, la eficiencia operativa, el aprovechamiento del recurso y el desempeño ambiental del proyecto.

En consecuencia, el diseño de la planta de beneficio deberá ser coherente con las características mineralógicas del yacimiento, el método de explotación, la capacidad de producción prevista y los criterios de sostenibilidad ambiental.

CONCEPTO CLAVE: El beneficio del mineral aurífero es una etapa estratégica del ciclo productivo y debe planificarse de manera integrada con el diseño de la mina. La eficiencia del proceso de beneficio determina el aprovechamiento del recurso mineral, la recuperación metalúrgica y la rentabilidad del proyecto.



5.6.1 Selección y diseño del proceso de beneficio

La selección del proceso de beneficio deberá sustentarse en las características mineralógicas del mineral aurífero y en los resultados de las pruebas metalúrgicas disponibles.

El diseño de la planta deberá considerar, entre otros aspectos:

- Las características mineralógicas y granulométricas del mineral.
- La capacidad de tratamiento prevista y su compatibilidad con la producción de la mina.
- La selección de las operaciones unitarias requeridas para el beneficio.
- La eficiencia esperada del proceso de recuperación.
- La disponibilidad de agua, energía e insumos para la operación.

La integración entre el método de explotación y el proceso de beneficio permitirá optimizar la recuperación del oro y reducir pérdidas asociadas a la dilución, la fragmentación y el manejo del mineral.

BUENA PRÁCTICA

La capacidad de la planta de beneficio deberá definirse con base en la producción planificada y las características del mineral. Como referencia, las operaciones de pequeña minería aurífera de filón suelen presentar capacidades de tratamiento del orden de **20 a 100 t/día**; sin embargo, el dimensionamiento deberá sustentarse en las condiciones particulares del yacimiento, el método de explotación y la eficiencia esperada del proceso de beneficio.

5.6.2 Eliminación y sustitución del mercurio

Las operaciones de beneficio deberán desarrollarse conforme a la normativa vigente sobre la eliminación y sustitución del mercurio en la minería aurífera (Ley 1658, 2013).

Cuando aplique, el proyecto deberá incorporar un programa para la sustitución progresiva del mercurio, considerando el diagnóstico de las condiciones actuales, la evaluación de tecnologías alternativas, el cronograma de implementación y las acciones orientadas a mejorar la recuperación del oro mediante procesos ambientalmente sostenibles.

5.6.3 Control metalúrgico y reconciliación del beneficio

El proceso de beneficio deberá contar con mecanismos de seguimiento que permitan evaluar su desempeño mediante indicadores técnicos asociados a la recuperación metalúrgica y al aprovechamiento del recurso.

Como parte del control operacional se recomienda realizar el seguimiento periódico de variables como:

- Tonelaje alimentado.
- Ley del mineral de alimentación.
- Ley de los relaves.
- Recuperación metalúrgica.
- Consumo de agua, energía y reactivos.

La información obtenida deberá utilizarse para evaluar la eficiencia del proceso y retroalimentar el planeamiento de la explotación y del beneficio.

5.6.4 Manejo de colas y relaves

El manejo de colas y relaves deberá incorporarse desde la etapa de diseño de la operación minera,

considerando criterios geotécnicos, hidráulicos y ambientales que garanticen la estabilidad física de los depósitos y minimicen los riesgos para las personas y el medio ambiente.

El diseño deberá contemplar, como mínimo:

- La localización y configuración del depósito de colas.
- Los sistemas de drenaje y manejo de aguas.
- La recirculación del agua de proceso.
- Las medidas para prevenir la contaminación del suelo y los cuerpos de agua.
- Los criterios de cierre y rehabilitación del depósito.

La planificación integrada del beneficio y del manejo de residuos contribuye a mejorar el desempeño ambiental de la operación y favorece el aprovechamiento sostenible del recurso mineral.

Componente	Aspectos mínimos para considerar
Diseño del beneficio	Mineralogía, capacidad de planta, operaciones unitarias
Sustitución del mercurio	Tecnologías alternativas, cronograma, cumplimiento de la Ley 1658 de 2013
Control metalúrgico	Ley de alimentación, ley de relaves, recuperación
Manejo de colas	Diseño geotécnico, drenaje, recirculación, cierre



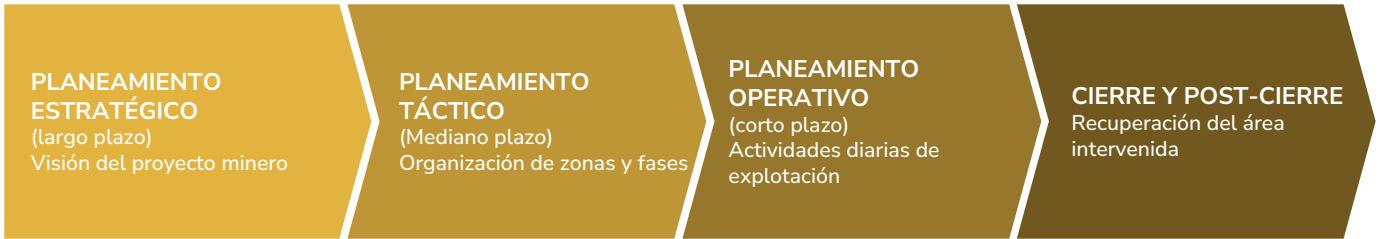
6. PLANEAMIENTO MINERO

El planeamiento minero organiza el desarrollo de la operación en el tiempo, definiendo las actividades que se ejecutarán, el momento y lugar de su realización, así como los recursos requeridos para ello, en coherencia con las condiciones de seguridad, desempeño ambiental y cumplimiento de la normativa aplicable.

En la pequeña minería aurífera, el planeamiento debe ser técnicamente sustentado, verificable y coherente con el documento técnico aplicable, de manera que permita orientar la explotación racional del yacimiento y garantizar la continuidad de la operación.

La **Figura 6-1** presenta los diferentes niveles del planeamiento minero y su relación dentro del proceso de gestión de la operación.

Figura 6-1
Niveles de Planeamiento Minero



El propósito del planeamiento es asegurar que las decisiones operativas adoptadas en cada frente de explotación respondan a una estrategia de mediano y largo plazo, orientada al aprovechamiento sostenible del recurso mineral y no únicamente a la extracción inmediata del mineral disponible.

6.1 Planeación Estratégica – Largo Plazo

La planeación estratégica establece la visión de largo plazo para el desarrollo de la mina y constituye la base para la programación de las actividades técnicas, operativas y económicas durante toda su vida útil.

Como parte del proceso de planeamiento estratégico deberán analizarse, entre otros, los siguientes aspectos:

- La vida útil estimada de la mina con base en las reservas disponibles.
- Los niveles de producción compatibles con el aprovechamiento racional del yacimiento.
- La programación de las inversiones requeridas para infraestructura, seguridad minera, beneficio del mineral y formalización, cuando corresponda.
- Las condiciones previstas para la transición hacia el cierre progresivo y el cierre definitivo de la operación.

Con base en este análisis, deberá definirse un horizonte de planeamiento con metas realistas de producción y una secuencia general de las principales etapas de la vida útil de la mina.

La **Tabla 6-1** presenta las etapas estratégicas de la vida útil de la mina y su propósito dentro del proceso de planeamiento estratégico.

Tabla 6-1
Etapas estratégicas

Etapas estratégicas	Propósito	Elementos clave
Preparación	Organizar accesos y frentes iniciales de explotación.	Desarrollo de labores e infraestructura básica.
Producción estable	Mantener flujo continuo de mineral hacia planta de beneficio.	Producción anual y número de frentes activos.
Transición productiva	Ajustar producción conforme disminuyen las reservas explotables.	Cambios operativos y optimización de recursos.
Cierre progresivo	Preparar la recuperación del área intervenida.	Estabilización del terreno y transición al cierre.

La siguiente **Figura 62** se define las etapas de la vida útil de la mina y su propósito dentro del planeamiento estratégico.

Figura 6-2

Planeación estratégica de la vida útil de una mina





Como parte del planeamiento estratégico, el documento técnico deberá presentar los elementos que sustentan la visión de largo plazo de la operación minera y demuestran la planificación ordenada del aprovechamiento del yacimiento. Entre los principales aspectos se incluyen:

- Una descripción de la vida útil estimada de la mina, sustentada en las reservas o recursos minerales disponibles.
- La proyección general de la producción durante la vida útil de la operación, indicando las principales etapas de desarrollo, consolidación, producción estable, transición productiva y cierre progresivo.
- La justificación de las decisiones estratégicas que orientarán el desarrollo de la mina, incluyendo la secuencia de explotación, la programación de inversiones, la incorporación de tecnologías de beneficio más eficientes y ambientalmente sostenibles, así como la implementación progresiva de las medidas de rehabilitación y cierre.

Más que definir valores de producción con un alto nivel de detalle, este componente del documento técnico debe evidenciar que la explotación ha sido planificada con criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales, orientados al aprovechamiento racional del recurso mineral y al desarrollo sostenible de la operación.

6.2 Planeación táctica – mediano plazo

La planeación táctica constituye el nivel intermedio del planeamiento minero, mediante el cual los lineamientos definidos en la planeación estratégica se convierten en programas concretos de explotación, desarrollo, producción e inversión para el mediano plazo, generalmente entre uno (1) y cinco (5) años.

La Figura 6-4 presenta la relación entre los niveles estratégico, táctico y operativo del planeamiento minero, destacando el papel de la planeación táctica como elemento articulador entre la visión de largo plazo y la ejecución de las actividades diarias de la operación.

Figura 6-4
Lógica de planeación minera



El plan táctico deberá ser consistente con el método de explotación seleccionado y asegurar que la producción programada sea compatible con la capacidad técnica, operativa, ambiental y de beneficio de la mina.

La **Tabla 6-2** presenta los principales componentes de la planeación táctica y las decisiones que orientan la programación de la explotación durante el mediano plazo.

Tabla 6-2
Matriz de planeación Táctica

Componente	Decisión táctica	Propósito
Zonas de explotación	Definir frentes a abrir, mantener o cerrar por período.	Organizar la extracción del yacimiento.
Producción y ley	Combinar frentes de diferente ley.	Mantener alimentación estable a planta.
Desarrollos mineros	Programar galerías, rampas, tajos y obras de preparación.	Garantizar continuidad de la operación.
Infraestructura y planta	Planificar inversiones y adecuaciones en beneficio.	Asegurar capacidad de procesamiento.
Gestión ambiental y seguridad	Articular producción con manejo de agua, ventilación y sostenimiento.	Evitar sobrecarga operativa y riesgos.

La programación táctica deberá reflejar la secuencia de explotación definida para el método minero seleccionado. En operaciones subterráneas, por ejemplo, se establecerá el orden de desarrollo de cámaras, pilares, galerías o niveles; mientras que, en minería a cielo abierto, se programará la explotación de bancos o fases conforme al avance previsto de la operación.

La **Figura 6-5** presenta, de manera esquemática, la secuencia de desarrollo de la explotación según el método minero seleccionado.

Figura 6-5
Etapas del planeamiento minero.





Como apoyo para la elaboración del plan minero, el anexo “Capítulo 6. Plantilla Planeamiento Mina” incluye un formato orientador que facilita la programación de las actividades previstas para la operación y el seguimiento de su ejecución.

De manera complementaria, la **Figura 6-6** presenta una metodología general para estructurar el plan minero de una operación de pequeña minería, integrando las principales actividades requeridas para su formulación y seguimiento.

Figura 6-6

Pasos para tener en cuenta para el planeamiento



El resultado debe ser un relato claro de lo que la mina va a hacer en los próximos años, que permita a la autoridad verificar que la explotación no sobrepasará la capacidad ambiental, técnica y social del territorio, y que la operación de oro se está ordenando de forma progresiva y responsable.

6.3 planeación operativa – corto plazo

La planeación operativa corresponde al nivel de ejecución del planeamiento minero y traduce los lineamientos definidos en la planeación táctica en actividades diarias, semanales y mensuales. Su propósito es programar las labores de explotación, desarrollo, sostenimiento, ventilación, transporte y beneficio, asignando los recursos necesarios para garantizar el cumplimiento de las metas de producción, las condiciones de seguridad y los compromisos ambientales de la operación.

La **Figura 6-7** presenta el ciclo continuo de la planeación operativa, el cual integra la programación de las actividades, su ejecución, el seguimiento de los resultados y los ajustes requeridos para mantener la operación alineada con el plan táctico.

Figura 6-7

Ciclo planeación operativa



La planeación operativa constituye un proceso dinámico de seguimiento y mejora continua, mediante el cual los resultados obtenidos en la operación permiten ajustar la programación de las actividades y optimizar el desempeño de la mina, sin perder coherencia con los objetivos establecidos en los niveles estratégico y táctico del planeamiento.

La **Tabla 6-3** presenta las principales acciones de control que apoyan la ejecución y el seguimiento del plan operativo.

Tabla 6-3
Matriz Control operativo

Componente	Acción operativa	Propósito
Producción	Programar las metas de producción y los frentes activos para cada período.	Cumplir el tonelaje y la ley programados.
Actividades mineras	Programar las actividades de perforación, voladura, cargue, transporte y beneficio.	Garantizar la continuidad de la operación.
Registros	Mantener el control de la producción, el desempeño de la planta, el consumo de recursos y los eventos operacionales.	Verificar el cumplimiento del plan y facilitar la toma de decisiones.
Seguimiento	Comparar los resultados obtenidos con la programación establecida.	Identificar desviaciones y definir acciones de ajuste.
Control de ley	Gestionar la variabilidad de la ley del mineral alimentado a la planta de beneficio.	Mantener la estabilidad de la recuperación metalúrgica y del desempeño económico de la operación.

El plan operativo constituye el instrumento de programación y control que orienta la ejecución de las actividades diarias, semanales y mensuales de la operación minera. En él se programan las labores previstas, los recursos requeridos, las condiciones de seguridad, los controles operacionales y los registros necesarios para realizar el seguimiento de la ejecución del plan.

La planeación operativa integra las actividades del ciclo minero productivo, asegurando que cada una de ellas se desarrolle de manera coordinada y en concordancia con las metas definidas en la planeación táctica. La **Figura 6-8** presenta las principales etapas del ciclo minero productivo en una operación minera.



Figura 6-8

Ciclo minero productivo en operaciones mineras.



El ciclo minero productivo comprende las actividades fundamentales para el desarrollo de la operación; sin embargo, su ejecución debe responder a una programación previamente establecida y a un proceso permanente de seguimiento y control que garantice la continuidad operacional, la seguridad de los trabajadores y la eficiencia en el aprovechamiento del recurso mineral.

En las operaciones auríferas, uno de los aspectos más relevantes del control operativo es la gestión de la variabilidad de la ley del mineral alimentado a la planta de beneficio. El seguimiento continuo de este parámetro permite interpretar adecuadamente los resultados de recuperación metalúrgica

y diferenciarlos de las variaciones propias de la secuencia de explotación. De esta manera, las decisiones operativas se sustentan en los lineamientos definidos por la planeación táctica, favoreciendo la estabilidad de la producción, la continuidad de la operación y el desempeño de la planta de beneficio.

La **Figura 6-9** ilustra la aplicación del planeamiento minero en la programación semanal de la operación, mostrando la relación entre las actividades programadas, su ejecución y el seguimiento de los resultados.

Figura 6-9
Planeación semana para minería aurífera de pequeña escala



6.4 Planeación de cierre y postcierre

La planeación del cierre y postcierre constituye un componente esencial del planeamiento minero y debe incorporarse desde las etapas iniciales del proyecto. Las decisiones relacionadas con el diseño de la explotación, el desarrollo de la infraestructura, el manejo ambiental y la gestión de los recursos deben orientarse hacia una condición final estable, segura y compatible con el uso futuro del territorio.

La **Figura 6-10** presenta el cierre de mina como parte integral del ciclo de planeamiento, resaltando que las actividades de rehabilitación, recuperación y desmantelamiento no corresponden únicamente a la etapa final de la operación, sino que forman parte de un proceso continuo de planificación y ejecución.

Figura 6-10
Cierre minero.



La planeación del cierre comprende el conjunto de acciones técnicas, ambientales, sociales y administrativas orientadas a garantizar que la operación minera concluya en condiciones que minimicen los riesgos para las personas, la infraestructura y el medio ambiente. Estas acciones deben programarse desde el inicio del proyecto y ejecutarse de manera progresiva durante la vida útil de la mina, conforme al avance de la explotación y las actividades de rehabilitación.

La **Tabla 6-4** presenta los principales componentes que deben considerarse para la planificación del cierre y el postcierre de la operación minera.

Tabla 6-4
Planeación de Cierre

Componente	Criterio de planeación	Propósito
Visión de cierre	Definir condición final de tajos, labores, botaderos, colas e infraestructura.	Establecer un estado final estable del territorio.
Cierre progresivo	Integrar reconformación, rellenos, revegetación y retiro de infraestructura durante la operación.	Reducir pasivos ambientales y facilitar recuperación.
Uso futuro del suelo	Definir alternativas como uso agroforestal, conservación u otros acordados.	Asegurar sostenibilidad post-minera.
Articulación ambiental	Vincular acciones con instrumento ambiental y normativa de cierre.	Garantizar cumplimiento regulatorio.

La planeación del cierre y postcierre define las condiciones finales en las que permanecerá el área intervenida una vez concluyan las actividades de explotación. Para ello, contempla la estabilización física del terreno, el manejo y control de drenajes, la recuperación de coberturas vegetales, la gestión de los pasivos asociados a la operación y la definición del uso futuro del suelo, de acuerdo con las características del territorio y la normativa aplicable.

La implementación progresiva de las medidas de cierre durante la vida útil de la mina favorece una transición ordenada hacia la etapa de postcierre, facilita el cumplimiento de los compromisos ambientales y sociales, y contribuye a la estabilidad física, ambiental y funcional del área intervenida.

La Figura 6-11 resume las principales acciones que permiten integrar la planeación del cierre con la operación minera, promoviendo la coherencia entre las decisiones de planeamiento, la ejecución de la explotación y las actividades de rehabilitación progresiva.

Figura 6-11
Acciones a tener en cuenta para el planeamiento minero





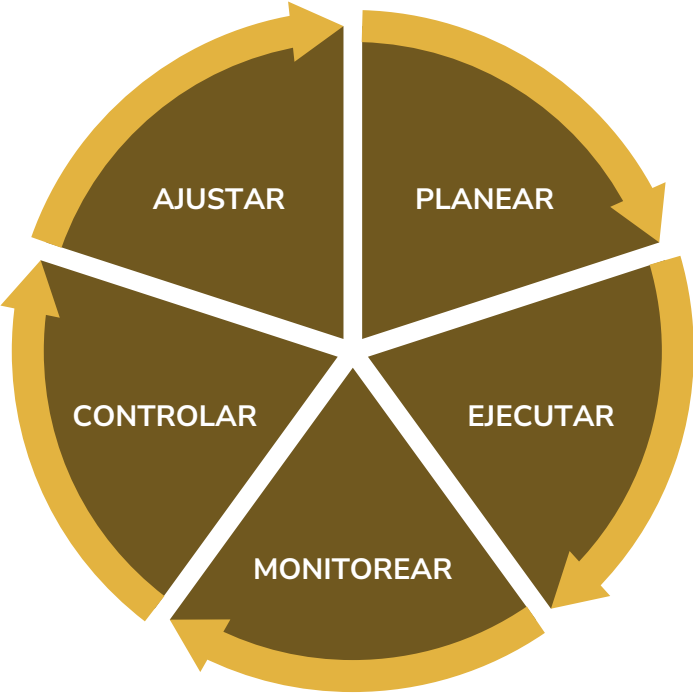
7. OPTIMIZACIÓN DEL PLANEAMIENTO MINERO, MONITOREO Y CONTROL

El planeamiento minero constituye un proceso dinámico de gestión que requiere seguimiento, evaluación y actualización permanente durante la vida útil de la operación. En este sentido, el Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD) o el documento técnico correspondiente no debe entenderse únicamente como un requisito documental, sino como el principal instrumento para orientar, controlar y mejorar el desarrollo de las actividades mineras.

La optimización del planeamiento, el monitoreo y el control conforman un ciclo continuo mediante el cual la información generada durante la operación permite evaluar el cumplimiento de las metas programadas, identificar desviaciones y adoptar las acciones de ajuste necesarias para mantener la coherencia entre el planeamiento y la ejecución de la explotación.

La **Figura 7-1** presenta de manera general este proceso de mejora continua y la interacción entre la planeación, la ejecución, el seguimiento y la toma de decisiones.

Figura 7-1
Optimización del planeamiento minero



7.1 Optimización del plan de minado

La optimización del plan de minado corresponde al proceso mediante el cual la planificación de la explotación se ajusta de manera sistemática a las condiciones reales de la operación, incorporando la información obtenida durante el seguimiento técnico, operativo, ambiental y económico de la mina. Este proceso permite mantener la coherencia entre el diseño de la explotación y la evolución del yacimiento, favoreciendo una utilización más eficiente de los recursos disponibles y una mejor capacidad de respuesta frente a los cambios que puedan presentarse durante la operación.

La **Figura 7-2** presenta un esquema general del proceso de optimización del plan de minado, integrando las principales etapas del ciclo de mejora continua.

Figura 7-2
Optimización del plan minero





La optimización del planeamiento se fundamenta en un proceso continuo de planear, ejecutar, verificar y ajustar, mediante el cual los resultados obtenidos durante la operación permiten introducir mejoras progresivas en la programación de la explotación, la asignación de recursos, el desempeño de la planta de beneficio, la gestión ambiental y las condiciones de seguridad.

Este enfoque favorece que el plan de minado permanezca actualizado, conserve su utilidad como herramienta de gestión y responda oportunamente a las variaciones propias del yacimiento y de la operación minera.

7.1.1 Enfoque práctico para la optimización del plan de minado

La optimización del plan de minado se fundamenta en la implementación de herramientas de gestión que permitan actualizar, controlar y ajustar la operación de manera continua, a partir de la información generada durante la ejecución de las labores mineras. Estas herramientas facilitan la toma de decisiones, fortalecen la trazabilidad del proceso de planeamiento y contribuyen al mejoramiento del desempeño técnico, operativo, ambiental y de seguridad de la operación.

La **Tabla 7-1** presenta los principales componentes para la implementación de un proceso de optimización del plan de minado en operaciones de pequeña minería.

Tabla 7-1
Enfoque práctico para la optimización del plan de minado

Componente	Acción clave	Propósito
Actualización del plan	Revisar periódicamente la programación de la explotación y ajustar cronogramas, volúmenes y secuencia de los frentes.	Mantener la coherencia entre el planeamiento y la operación real.
Sistematización de la información	Registrar información sobre producción, ley del mineral, recuperación, avances mineros y condiciones geotécnicas, de ventilación e hidráulicas.	Evaluar el desempeño e identificar desviaciones oportunamente.
Priorización de labores	Programar las actividades de acuerdo con criterios técnicos, de seguridad, continuidad operacional y calidad del mineral.	Optimizar la secuencia de explotación.
Coherencia técnica y normativa	Verificar la correspondencia entre el plan de minado, el documento técnico y los requisitos ambientales y de seguridad.	Favorecer el cumplimiento de la normativa aplicable.
Trazabilidad	Documentar las modificaciones efectuadas al plan y las decisiones adoptadas durante la operación.	Facilitar el seguimiento técnico y respaldar la toma de decisiones.

La optimización del plan de minado requiere mantener registros claros, aplicar criterios técnicos en la priorización de labores y asegurar que los ajustes realizados sean coherentes con el documento técnico y la normativa vigente.

7.1.2 Finalidad de la optimización del plan

La optimización del plan de minado tiene como finalidad mantener el planeamiento como una herramienta de gestión dinámica, capaz de adaptarse a las condiciones reales de la operación sin perder coherencia con los objetivos técnicos definidos para el proyecto minero.

Un proceso de optimización adecuado permite disponer de un planeamiento:

- Coherente con la capacidad técnica, operativa y financiera de la mina.
- Aplicable a las condiciones reales de la operación.
- Compatible con los requisitos de seguridad minera, gestión ambiental y estabilidad geotécnica.
- Sustentado en información verificable mediante indicadores de desempeño.
- Orientado al mejoramiento continuo y al aprovechamiento eficiente del recurso mineral.

De esta manera, el plan de minado trasciende su función documental y se consolida como el principal instrumento para orientar la gestión técnica, apoyar la toma de decisiones y fortalecer los procesos de formalización minera.

7.2 Monitoreo técnico y operacional

El monitoreo técnico y operacional constituye el proceso mediante el cual se verifica la ejecución del planeamiento minero, utilizando información obtenida durante el desarrollo de las labores para evaluar el desempeño de la operación y apoyar la toma de decisiones.



Este proceso permite:

- Verificar el cumplimiento de la programación establecida en el plan de minado y en el documento técnico.
- Identificar oportunamente cambios en las condiciones geológicas, geotécnicas, operacionales, ambientales y del proceso de beneficio que puedan afectar el desempeño de la mina.
- Generar información confiable, organizada y trazable que respalde la optimización del plan de minado y sustente las decisiones técnicas adoptadas durante la operación.

La implementación sistemática del monitoreo técnico y operacional favorece la identificación temprana de desviaciones, la gestión de riesgos, el ajuste oportuno del planeamiento y el cumplimiento de los requisitos técnicos y normativos aplicables.

La **Figura 7-3** presenta de manera esquemática el proceso de monitoreo como soporte para la evaluación del desempeño y la toma de decisiones durante la operación minera.

Figura 7-3
Monitoreo de actividades operativas

Actividad / control	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Meta semanal	Estado
Avance de labor (m)	●	●	●	●	●	●		18 m de avance	En curso
Producción de mineral (t)	●	●	●	●	●	●		120 t de mineral	Cumplido
Control de ley / muestreo		✓		✓		✓		3 muestreos	En curso
Sostenimiento y ventilación	✓		✓		✓			3 verificaciones	Alerta
Drenaje y manejo de agua		✓			✓			2 inspecciones	Cumplido
Mantenimiento de equipos			✓			✓		2 mantenimientos	En curso
Seguridad y charla diaria	✓	✓	✓	✓	✓	✓		6 charlas + inspección	Cumplido
Registro y revisión semanal							✓	1 cierre semanal	Pendiente

7.2.1 Principios para el monitoreo en pequeña minería de oro.

El monitoreo técnico y operacional debe sustentarse en principios que garanticen la generación de información confiable, útil para la toma de decisiones y compatible con las condiciones propias de la pequeña minería. Estos principios orientan la implementación de un sistema de seguimiento que facilite la evaluación continua del desempeño de la operación y del cumplimiento del plan de minado.

- **Simplicidad:** implementar formatos y procedimientos de registro claros, con variables relevantes y de fácil aplicación durante la operación.
- **Regularidad:** realizar mediciones y registros con una periodicidad definida que permita evaluar la evolución de la operación y detectar oportunamente posibles desviaciones.
- **Enfoque en riesgos y desempeño:** priorizar el seguimiento de las variables que inciden en la seguridad minera, la estabilidad geotécnica, el comportamiento ambiental, la productividad y el cumplimiento normativo.

- **Integración con el documento técnico:** asegurar que las variables objeto de seguimiento correspondan a los parámetros establecidos en el Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD) o en el documento técnico aplicable.
- **Trazabilidad:** mantener registros organizados, fechados y verificables que permitan documentar la evolución de la operación y respaldar las decisiones técnicas adoptadas.

7.2.2 Elementos clave a monitorear y su propósito.

El monitoreo técnico y operacional comprende el seguimiento sistemático de un conjunto de variables que permiten evaluar el desempeño de la explotación, la estabilidad de las labores, la eficiencia del proceso de beneficio, las condiciones de seguridad y el cumplimiento de los lineamientos definidos en el documento técnico.

La **Tabla 7-2** presenta los principales elementos objeto de monitoreo y el propósito de su seguimiento dentro del proceso de optimización del plan de minado.

Tabla 7-2
Aspectos de monitoreo en pequeña minería de oro

Elemento para monitorear	Propósito	Frecuencia
Condiciones geotécnicas	Identificar riesgos de inestabilidad y definir acciones de sostenimiento o control.	Inspección diaria y registro semanal.
Ventilación y aire	Garantizar condiciones seguras y adecuadas de ventilación.	Verificación diaria y registro periódico.
Agua y drenaje	Controlar infiltraciones, estabilidad y riesgos de inundación.	Observación diaria y registro según riesgo.
Avances y producción	Verificar cumplimiento del plan de minado.	Registro diario y consolidación periódica.
Ley y recuperación	Evaluar calidad del mineral y desempeño del beneficio.	Muestreo periódico y análisis mensual.
Equipos y mantenimiento	Asegurar disponibilidad operativa.	Registro diario y análisis periódico.
Seguridad y salud	Controlar condiciones de riesgo y cumplimiento de SST.	Verificación diaria e inspección semanal.
Gestión ambiental	Cumplir obligaciones ambientales y controlar impactos.	Registro periódico según variable.
Cumplimiento del plan	Verificar coherencia con documento técnico y formalización.	Revisión mensual o trimestral.

El anexo Capítulo 7, está disponible el Formato de Verificación, que facilita el registro sistemático del monitoreo y la trazabilidad de la información para la toma de decisiones.

Recomendaciones de uso

- Usar formatos simples y repetibles
- No registrar más información de la que se puede analizar
- Revisar el checklist en reuniones periódicas
- Registrar siempre las acciones tomadas
- Conservar los formatos como soporte

7.2.3 Herramientas y organización del monitoreo

La implementación del monitoreo técnico y operacional requiere una organización básica que permita registrar, consolidar, analizar y conservar la información generada durante la operación minera. La disponibilidad de información confiable y sistematizada facilita el seguimiento del desempeño de la mina, la identificación de desviaciones y la evaluación del cumplimiento de las metas establecidas en el plan de minado.

La **Tabla 7-3** presenta los principales elementos necesarios para estructurar un sistema de monitoreo técnico y operacional en una operación de pequeña minería.

Tabla 7-3
Herramientas y organización



Elemento	Acción	Propósito
Formatos de registro	Definir formatos simples por tipo de variable (geotecnia, agua, ventilación, producción, seguridad, ambiente, equipos).	Facilitar el registro sistemático de información.
Responsables	Asignar responsables para cada registro (capataz, jefe de turno, responsable técnico, operador de planta).	Garantizar cumplimiento y calidad del monitoreo.
Consolidación de información	Integrar datos en reportes semanales o mensuales.	Comparar resultados con el plan de minado y el documento técnico.
Revisión periódica	Analizar información en espacios técnicos breves.	Identificar desviaciones y ajustar la operación.
Trazabilidad	Conservar registros como soporte técnico.	Evidenciar gestión, seguridad y cumplimiento normativo.

El monitoreo técnico y operacional constituye el soporte para la optimización continua del plan de minado y para la toma de decisiones basada en información objetiva. Su implementación fortalece la gestión técnica de la operación al proporcionar evidencia para evaluar el desempeño productivo, geotécnico, ambiental y de seguridad, facilitando la adopción de medidas de ajuste y mejora continua.

De esta manera, el sistema de monitoreo contribuye a mantener la coherencia entre el planeamiento y la ejecución de las labores, favorece el cumplimiento del documento técnico y de la normativa aplicable, y fortalece los procesos de formalización y sostenibilidad de la actividad minera.

7.3 Sistemas de control y toma de decisiones

Los sistemas de control constituyen el mecanismo mediante el cual la información generada durante la operación minera se transforma en insumo para la evaluación del desempeño y la toma de decisiones. En las operaciones de pequeña minería de oro, su implementación no requiere herramientas tecnológicas complejas, sino procedimientos claros para recopilar, verificar, analizar y utilizar la información de manera oportuna y sistemática.

Un sistema de control eficaz permite:

- Evaluar el estado de la operación a partir de información técnica confiable.
- Identificar las causas de las desviaciones respecto al plan de minado.
- Definir e implementar las acciones de ajuste requeridas para mantener el cumplimiento de los objetivos técnicos, operacionales, ambientales y de seguridad.

La implementación de estos sistemas favorece la identificación temprana de riesgos, la optimización de los recursos disponibles, el cumplimiento del documento técnico y de la normativa aplicable, así como el fortalecimiento de los procesos de formalización minera. Asimismo, facilita la comunicación entre los responsables de la operación, mejora la trazabilidad de las decisiones y proporciona evidencia objetiva para los procesos de seguimiento y control.

La **Figura 7-4** presenta el proceso mediante el cual la información obtenida durante el monitoreo se transforma en decisiones orientadas al mejoramiento continuo de la operación minera.

Figura 7-4
Proceso para control y toma de decisiones

7.3.1 Propósito de los sistemas de control



El propósito de los sistemas de control es proporcionar información confiable, oportuna y verificable que apoye la evaluación del desempeño de la operación y sustente la toma de decisiones técnicas durante la ejecución del plan de minado. A partir del seguimiento sistemático de las variables operacionales, productivas, geotécnicas, ambientales y de seguridad, estos sistemas permiten identificar desviaciones, analizar sus causas y definir las acciones de ajuste requeridas para mantener la coherencia entre el planeamiento y la operación.

La **Figura 7-5** presenta de manera esquemática el proceso mediante el cual la información obtenida del monitoreo se convierte en un insumo para la toma de decisiones y la mejora continua de la gestión minera.

7.3.2 Componentes esenciales de un sistema de control en pequeña minería de oro

Un sistema de control en pequeña minería de oro se estructura en componentes que permiten medir, analizar y ajustar la operación de forma continua, en coherencia con el plan de minado y el documento técnico. La siguiente **Tabla 74** presenta los componentes esenciales para el control de la operación minera.

Figura 75
Proceso de seguimiento minero



Tabla 7-4
Herramientas y organización

Componente	Función	Alcance del control	Propósito
Indicadores de seguimiento	Medir seguridad, producción, calidad del mineral, agua, ventilación, mantenimiento y ambiente.	Seguridad y estabilidad (incidentes, sostenimiento, condiciones geotécnicas), producción, calidad del mineral, agua, ventilación, mantenimiento y ambiente.	Evaluar desempeño frente al planeamiento.
Alertas tempranas	Identificar desviaciones en ley, agua, estabilidad, ventilación, equipos o avance.	Cambios en ley, condiciones geotécnicas, agua, ventilación, desempeño de equipos y avance de labores.	Detectar riesgos y pérdidas de forma anticipada.
Acciones correctivas y preventivas	Definir intervenciones inmediatas o anticipadas frente a desviaciones.	Ajustes operativos en sostenimiento, ventilación, drenaje, equipos, secuencia y parámetros de beneficio.	Controlar problemas y evitar su recurrencia.
Revisión del plan de minado	Ajustar frentes, secuencia, cronograma e indicadores.	Modificación de frentes, secuencias, cronogramas e indicadores según condiciones reales.	Mantener coherencia entre operación y planeamiento.
Espacios de análisis	Realizar reuniones técnicas periódicas para evaluar información.	Revisión periódica de indicadores, alertas y avances en espacios técnicos.	Tomar decisiones informadas y oportunas.
Trazabilidad y documentación	Registrar monitoreo, indicadores, acciones y cambios del plan.	Registros de monitoreo, indicadores, alertas, acciones y cambios del plan.	Soportar decisiones y demostrar cumplimiento.

La implementación de estos componentes permite estructurar un sistema de control que integra monitoreo, análisis y toma de decisiones, facilitando el ajuste continuo del plan de minado y el cumplimiento técnico, ambiental y normativo de la operación.

A continuación, se presenta un ejemplo simplificado de checklist (Tabla 75) que permite verificar de manera práctica el funcionamiento del sistema de control en la operación minera.

Tabla 7-5
Checklist control en la operación minera

Verificación	Sí	No	Acción
¿Se presentaron incidentes?	☐	☒	Ninguno reportado
¿El sostenimiento está en buen estado?	☒	☐	Refuerzo en frente 2
¿La producción cumple lo planeado?	☐	☒	Ajustar turno adicional
¿Hay problemas de agua?	☒	☐	Aumentar bombeo



Recomendaciones de uso

- Usar formatos simples y repetibles
- No registrar más información de la que se puede analizar
- Revisar el checklist en reuniones periódicas
- Registrar siempre las acciones tomadas
- Conservar los formatos como soporte

7.3.3 Conversión del control en toma de decisiones

El sistema de control adquiere valor cuando la información generada durante el monitoreo se analiza de manera sistemática y se utiliza para orientar la toma de decisiones durante la ejecución del plan de minado. La información obtenida permite evaluar el desempeño de la operación, identificar desviaciones respecto a la programación y definir las acciones necesarias para mantener la continuidad, la seguridad y la eficiencia de la explotación.

Las decisiones técnicas derivadas del sistema de control deberán sustentarse en criterios como:

- **Seguridad minera:** priorizar la protección de las personas y la estabilidad de las labores.
- **Viabilidad técnica:** considerar las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas y operacionales de la mina.
- **Coherencia con el documento técnico:** mantener la correspondencia entre las actividades ejecutadas y el Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD) o el documento técnico aplicable, justificando técnicamente los ajustes que resulten necesarios.

- **Eficiencia operacional y económica:** optimizar el uso de los recursos disponibles y la secuencia de explotación para favorecer la continuidad de la operación.
- **Gestión ambiental:** incorporar criterios de prevención, mitigación y control de los impactos ambientales asociados a la actividad minera.

La utilización de información confiable, registros actualizados e indicadores de desempeño permite que el sistema de control se consolide como un mecanismo de apoyo para la toma de decisiones, el mejoramiento continuo y la optimización del planeamiento minero.

7.3.4 Integración del sistema de control en la formalización minera

La implementación de un sistema de control contribuye al fortalecimiento de los procesos de formalización minera al proporcionar evidencia objetiva sobre la planificación, ejecución y seguimiento de la operación. La disponibilidad de información organizada y verificable facilita la evaluación del cumplimiento de los requisitos técnicos, ambientales y de seguridad establecidos para el desarrollo de la actividad minera.

Entre los principales aportes del sistema de control al proceso de formalización se destacan:

- Seguimiento sistemático de las condiciones técnicas y operacionales de la mina.
- Identificación temprana de desviaciones y riesgos que puedan afectar la operación.
- Sustento técnico para la toma de decisiones mediante información verificable.
- Correspondencia entre el planeamiento definido en el documento técnico y las actividades ejecutadas en campo.



- Conservación de registros que evidencien la gestión técnica, ambiental y operacional de la mina.

En conjunto, estos elementos fortalecen la capacidad de gestión de la operación, favorecen el cumplimiento de la normativa aplicable y respaldan el desarrollo de una actividad minera planificada, responsable y sostenible.



7.4 Relación del planeamiento minero con el Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD)

El Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD) constituye el documento técnico mediante el cual se sustenta la planificación, ejecución y seguimiento de las actividades mineras desarrolladas en el marco de los procesos de formalización. Sus términos de referencia establecen la información mínima requerida para evaluar la viabilidad técnica de la operación y verificar la coherencia entre el diseño de la explotación, el planeamiento minero y las condiciones reales del proyecto.

De manera general, el PTOD comprende los siguientes componentes:

1. Información general del proyecto, incluyendo la delimitación del área, la cartografía, la infraestructura existente y la ubicación de las labores mineras.
2. Caracterización técnica del yacimiento, con la descripción geológica, litológica, estructural, estratigráfica y geotécnica que soporta el diseño de la explotación.
3. Diseño y operación minera, incorporando el método de explotación, el diseño de las labores de desarrollo, preparación y explotación, así como los sistemas de cargue, transporte, sostenimiento, ventilación, electrificación y manejo de aguas.

4. Planeamiento minero, mediante la definición de la secuencia de explotación, el cronograma de actividades, la proyección de las labores y la articulación entre el diseño y la ejecución de la operación.
5. Infraestructura y beneficio, con la descripción de la planta de beneficio, las operaciones unitarias, los equipos utilizados y el diagrama general del proceso.
6. Gestión operativa y económica, incluyendo la estimación del personal requerido, la producción proyectada, los costos, las inversiones y los principales indicadores de desempeño de la operación.
7. Componente ambiental y cierre, que incorpora las medidas para el manejo ambiental, la gestión de residuos y aguas, el control de impactos, el cierre progresivo y la recuperación de las áreas intervenidas.

El PTOD debe entenderse como el principal instrumento técnico para orientar el desarrollo ordenado de la operación minera, facilitar su seguimiento y respaldar la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Nota: para la elaboración y evaluación del Programa de Trabajos y Obras Diferencial deberá consultarse la versión vigente de los **Términos de Referencia para la Presentación y Evaluación del Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD)**, expedidos en desarrollo de la Ley 2250 de 2022 y de la normativa que la modifique, adicione o sustituya.



8. GESTIÓN AMBIENTAL

La gestión ambiental constituye un componente transversal del planeamiento minero y debe incorporarse desde las etapas iniciales del diseño y desarrollo de la operación. La integración de los aspectos ambientales con la planificación de la explotación permite identificar oportunamente los posibles impactos asociados a la actividad minera, definir las medidas de manejo correspondientes y programar los recursos necesarios para su implementación durante toda la vida útil del proyecto.

En este contexto, el planeamiento minero debe articularse con los instrumentos ambientales aplicables, de manera que las decisiones relacionadas con la explotación, el beneficio del mineral, la infraestructura, el manejo del agua, la gestión de residuos y el cierre de la mina sean compatibles con los compromisos ambientales establecidos para el proyecto.

8.1 Articulación entre los Instrumentos Técnicos Mineros y la Licencia Ambiental

Los instrumentos técnicos mineros y los instrumentos de gestión ambiental contienen información complementaria que, cuando se desarrolla de manera articulada, fortalece la planificación del proyecto, mejora la consistencia técnica de los estudios y optimiza la gestión de la información requerida por las autoridades competentes.

La **Tabla 8-1** presenta una correlación general entre los principales componentes de la Licencia Ambiental y la información requerida en los diferentes instrumentos técnicos mineros vigentes. Esta relación evidencia que gran parte de la información ambiental generada durante la elaboración del instrumento ambiental puede ser utilizada como soporte técnico para la formulación o actualización de dichos instrumentos, siempre que corresponda a los objetivos, alcance y nivel de detalle exigidos en cada uno de ellos.

La articulación entre estos instrumentos favorece la consistencia técnica del proyecto, optimiza el uso de la información disponible y evita la duplicidad de estudios, sin sustituir el cumplimiento de los requisitos específicos establecidos por la autoridad minera y la autoridad ambiental competente.



Tabla 8-1
Correspondencia entre los componentes del instrumento técnico minero y la información contenida en el instrumento de gestión ambiental

Componente ambiental desarrollado en la Licencia Ambiental	PTO (Res. 143 de 2017 y Res. 299 de 2018)	PTOC (Res. 414 de 2014)	PTOD (Res. 10 de 2024)	Anexo Técnico (Res. 614 de 2020)
Línea base ambiental (hidrología, cobertura, medio biótico).	Factores ambientales.	Información ambiental aplicable.	Manejo de aguas y componentes ambientales.	Información para localización y diseño.
Gestión social y relacionamiento.	Factores sociales.	—	Relacionamiento con el área de influencia.	Contacto con la comunidad.
Manejo de aguas.	Factores ambientales.	Recuperación geomorfológica.	Manejo y control de aguas superficiales.	Manejo de aguas.
Manejo de estériles y residuos.	Factores ambientales.	Recuperación del área.	Manejo y disposición de estériles.	Disposición de estériles.
Beneficio del mineral.	Factores ambientales.	—	Beneficio y transformación de minerales.	Beneficio del mineral.
Cierre y abandono	Factor Plan de Cierre y Abandono.	Plan de cierre y abandono.	Plan de cierre.	Plan de cierre.

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

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

1. Medidas de manejo ambiental y sus costos des- de exploración, cuando aplique.
2. Permisos, concesiones, autorizaciones o licencia ambiental según fase y tipo de actividad.
3. Restricciones ambientales del área y compa- tibilidad con zonas protegidas, cauces y POT/ PBOT/EOT.

4. Manejo de aguas, estériles, relaves, suelos y so- brantes, cuando el TDR aplicable lo exija.
5. Plan de cierre, con recuperación/restauración/re- habilitación y costos asociados.

8.1.1 Requisitos para la solicitud de viabilidad y licenciamiento ambiental

El desarrollo de un proyecto de pequeña minería requiere la articulación entre los instrumentos téc- nicos mineros y los instrumentos de gestión am- biental establecidos por la normativa vigente. En este contexto, el titular minero deberá identificar el trámite ambiental aplicable de acuerdo con la eta- pa del proyecto, el estado del proceso de formali- zación y las características de la operación.

La **Figura 8-1** presenta, de manera esquemática, los principales trámites ambientales que pueden requerirse para proyectos de pequeña minería, incluyendo la viabilidad ambiental cuando corresponda, la Licencia Ambiental Temporal para operaciones en proceso de formalización y la Licencia Ambiental Definitiva (Global), de conformidad con la normativa vigente.

El conocimiento de estos requisitos desde las etapas iniciales del planeamiento favorece la coordinación entre los componentes técnicos, mineros y ambientales del proyecto, facilita la programación de las actividades necesarias para la obtención de las autorizaciones correspondientes y contribuye al desarrollo ordenado de la operación minera.



Figura 8-1
Lista de requisitos para tramites ambientales ante la autoridad ambiental

1	SOLICITUD DE VIABILIDAD / DIAGNÓSTICO AMBIENTAL INICIAL (DECRETO 1076 DE 2015)
	✓ Registro del proyecto en la Ventanilla Integral de Trámites en Línea (VITAL). ✓ Documento de identidad del solicitante. ✓ Información geográfica del área de solicitud (mapas, coordenadas, planos base).
2	SOLICITUD DE LICENCIA AMBIENTAL TEMPORAL (LAT) PARA FORMALIZACIÓN MINERA (RESOLUCIÓN 1830 DE 2024)
	✓ Formulario Único de solicitud de Licencia Ambiental. ✓ Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la LAG (Resolución 2206 de 2016). ✓ Costo estimado de inversión y operación del proyecto. ✓ Documento de identificación (persona natural) certificado de existencia y representación legal. ✓ Certificado de la Autoridad Nacional de Consulta Previa del Ministerio del Interior (DANCP). ✓ Concepto del ICANH (Instituto Colombiano de Antropología e Historia). ✓ Constancia de pago para la prestación del servicio de evaluación de la licencia ambiental. ✓ Planes que soporten el EIA, de conformidad con la Resolución 1415 de 2012.
3	SOLICITUD DE LICENCIA AMBIENTAL DEFINITIVA / GLOBAL (PEQUEÑA MINERÍA) - DECRETO 1076 DE 2015
	✓ Formulario Único de solicitud de Licencia Ambiental. ✓ Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la LAG (Resolución 2206 de 2016). ✓ Costo estimado de inversión y operación del proyecto. ✓ Documento de identificación (persona natural) o certificado de existencia y representación legal (DANCP). ✓ Certificado de la Autoridad Nacional de Consulta Previa del Ministerio del Interior (DANCP). ✓ Concepto del ICANH (Instituto Colombiano de Antropología e Historia). ✓ Planos que soporten el EIA, de conformidad con la Resolución 1415 de 2012.



8.2 Identificación de impactos ambientales

La identificación de impactos ambientales constituye una etapa fundamental del planeamiento minero, ya que permite reconocer las interacciones entre las actividades de explotación y los componentes del medio físico, biótico y socioeconómico. Este análisis facilita la incorporación de medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación desde las etapas iniciales del proyecto, favoreciendo una gestión ambiental planificada e integrada con la operación minera.

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

En los procesos de formalización minera, la evaluación de impactos ambientales representa un insumo técnico para la formulación de los instrumentos de gestión ambiental y para la definición de las medidas de manejo requeridas durante las diferentes etapas del proyecto.

En este contexto, la Resolución 1830, 2024, mediante la cual se reglamenta la Licencia Ambiental Temporal en el marco del Plan Único de Legalización y Formalización Minera, establece los lineamientos que deben considerarse para la evaluación ambiental de las operaciones objeto del proceso de formalización.

La aplicación de estos lineamientos permite identificar los impactos asociados a las actividades mineras, valorar su importancia y definir las medidas de manejo ambiental acordes con las características del proyecto y del entorno intervenido.

Como fundamento para este proceso, resulta necesario conocer el marco normativo ambiental aplicable, el cual orienta la formulación de las medidas de manejo y el cumplimiento de las obligaciones ambientales durante el desarrollo de la operación minera.

La **Tabla 8-2** presenta las principales disposiciones normativas que sirven de referencia para la identificación y evaluación de impactos ambientales en proyectos de pequeña minería.

Tabla 8-2.
Instrumentos de referencia para la evaluación de impactos ambientales en proyectos de pequeña minería

Instrumento	Finalidad	Aplicación en el proyecto minero
Resolución 1830 de 2024 (Licencia Ambiental Temporal)	Establece los lineamientos para la evaluación de impactos ambientales y la definición de medidas de manejo en el marco del Plan Único de Legalización y Formalización Minera.	Orienta la identificación, valoración y priorización de los impactos ambientales generados por el proyecto, así como la formulación de las medidas de manejo correspondientes.
Listado de Impactos Ambientales Específicos – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Proporciona una metodología de referencia para identificar y clasificar los impactos ambientales asociados a las diferentes actividades productivas.	Facilita la selección y priorización de los impactos ambientales aplicables a la operación minera.
Resolución 263 de 2021 – Agencia Nacional de Minería	Establece los términos de referencia para la formulación del Plan de Gestión Social.	Apoya la identificación de impactos sobre las comunidades y orienta la formulación de medidas de gestión social durante el desarrollo del proyecto.

Por medio de la herramienta de evaluación de impactos proporcionada en la Resolución 1830, 2024, es posible identificar, valorar y jerarquizar los impactos ambientales asociados a los proyectos mineros, permitiendo priorizar adecuadamente las medidas de manejo ambiental de acuerdo con la magnitud e importancia de los impactos generados.

Figura 8-2
Listado de documentos anexos a la resolución 1830, 2024

DESCARGA LA RESOLUCIÓN 1830 DE 2024 AL PLANEAMIENTO MINERO

ARCHIVOS INCLUIDOS EN LA DESCARGA

- Anexo 1. FUN para solicitud LAT
- Anexo 2. Formato de verificación preliminar
- Anexo 3. Términos de Referencia LAT
- Anexo 4. Manual de Evaluación
- Herramienta EIA_V15.41
- Herramienta Manual de Evaluación EIA para LAT_V8.24
- RES. 1830 DE 23 DIC 2024 REGLAMENTA LICENCIA



La aplicación de la normativa ambiental vigente constituye un elemento fundamental para la planificación y el desarrollo de los proyectos de pequeña minería en proceso de formalización. El conocimiento de los requisitos asociados al licenciamiento ambiental y el uso de herramientas técnicas para la evaluación de impactos facilitan la incorporación de criterios ambientales en el planeamiento minero, fortalecen la toma de decisiones y contribuyen al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad ambiental competente.

En este contexto, la Resolución 1830 del 23 de diciembre de 2024 establece lineamientos para la evaluación de impactos ambientales en el marco de la Licencia Ambiental Temporal y pone a disposición la herramienta metodológica EIA V15.41, la cual permite identificar, valorar y priorizar los impactos ambientales del proyecto, así como apoyar la definición de las medidas de manejo ambiental correspondientes.

La **Figura 8-2** presenta la herramienta EIA V15.41 como apoyo para el proceso de evaluación de impactos ambientales en proyectos de pequeña minería en proceso de formalización.

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

La evaluación de impactos ambientales constituye una herramienta fundamental para integrar la gestión ambiental al planeamiento minero, permitiendo identificar las interacciones entre las actividades de explotación y los componentes del medio físico, biótico y socioeconómico, así como definir las medidas necesarias para prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos identificados.

De acuerdo con los Términos de Referencia para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental establecidos en la Resolución 2206 de 2016, la evaluación ambiental comprende, entre otros aspectos, 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.

Con base en estos lineamientos, la presente guía propone una metodología orientadora para la evaluación de impactos ambientales, adaptada a las condiciones de la pequeña minería y alineada con los componentes exigidos en los Términos de Referencia del Estudio de Impacto Ambiental. Esta metodología integra la identificación de las actividades potencialmente impactantes, la valoración de los impactos y la definición de las medidas del Plan de Manejo Ambiental.

La **Tabla 8-3** presenta los principales componentes de esta metodología y su aplicación durante el proceso de evaluación ambiental.

Como complemento, el Anexo 8.2 desarrolla de manera detallada el procedimiento para la identificación y evaluación de impactos ambientales, mientras que la **Figura 8-3** sintetiza el proceso metodológico mediante un esquema secuencial que facilita su aplicación en proyectos de pequeña minería.

Tabla 8-3 Buena práctica minera en la evaluación de impactos de pequeña minería

EXIGENCIA TDR RESOLUCIÓN 2206	BUENA PRÁCTICA 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 propósito de facilitar la incorporación de la evaluación de impactos ambientales en el proceso de planeamiento minero, la Figura 8-3 presenta una metodología orientadora que sintetiza las principales etapas para la identificación, evaluación y priorización de los impactos ambientales en proyectos de pequeña y mediana minería. Este esquema integra los lineamientos técnicos establecidos en los instrumentos de gestión ambiental y proporciona una secuencia lógica para apoyar la formulación de las medidas de manejo ambiental durante la planificación de la operación minera.

Figura 8-3 Paso a paso para identificación de impactos ambientales en el proyecto minero



Paso 1. Identificación de las actividades del proyecto minero

Como primera etapa del proceso, identifique las actividades que hacen parte de la operación minera y que pueden generar interacciones con el medio ambiente. Esta información constituye la base para la identificación de los impactos ambientales asociados al proyecto.

Marque (✓) las actividades que se desarrollan en la operación:

- ☐ Remoción de cobertura vegetal.
- ☐ Excavación y explotación minera.
- ☐ Cargue y transporte de material.
- ☐ Trituración y beneficio del mineral.
- ☐ Acopio de material.
- ☐ Manejo y disposición de estériles.
- ☐ Almacenamiento y manejo de combustibles.
- ☐ Bombeo de aguas de mina.
- ☐ Vertimiento de aguas provenientes de la operación minera.
- ☐ Manejo y disposición de residuos.



Paso 2. Identificación de los componentes ambientales potencialmente afectados

Con base en las actividades identificadas en el paso anterior, determine los componentes ambientales que pueden verse afectados por el desarrollo del proyecto minero.

Para esta actividad, utilice la Tabla 8-4, en la cual se presenta la relación entre las actividades de la operación y los componentes ambientales susceptibles de ser impactados.

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 y valoración de los impactos ambientales

Una vez identificados los componentes ambientales potencialmente afectados, se deberá establecer el tipo y nivel de los impactos asociados a cada uno de ellos. Para este propósito, se utilizarán los listados de impactos ambientales correspondientes a los componentes **aire, agua, suelo y medio socioeconómico**, presentados en las **Tablas 8-5 a 8-8**.

La identificación de los impactos permitirá reconocer las principales interacciones entre las actividades mineras y el entorno, constituyendo la base para su valoración y posterior definición de las medidas de manejo ambiental.

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 carga 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

N°	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 impactos y definición de medidas de manejo ambiental

Con base en la valoración realizada, los impactos identificados deberán consolidarse en la Tabla 8-9, con el fin de establecer su nivel de prioridad y facilitar la formulación de las medidas correspondientes del Plan de Manejo Ambiental (PMA).

La priorización de los impactos constituye un insumo fundamental para la definición de las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación, permitiendo orientar los esfuerzos de gestión hacia aquellos impactos que presentan mayor importancia ambiental.

Como criterio general de priorización, podrán considerarse los siguientes niveles de intervención:

- Impactos de prioridad alta: requieren la implementación inmediata de medidas de manejo, seguimiento permanente y control prioritario.
- Impactos de prioridad media: requieren la aplicación de medidas preventivas y de mitigación, así como un seguimiento periódico para verificar su comportamiento.
- Impactos de prioridad baja: pueden gestionarse mediante buenas prácticas operacionales, medidas de manejo de carácter preventivo y seguimiento periódico para verificar su estabilidad.



La aplicación sistemática de esta metodología facilita la formulación del Plan de Manejo Ambiental y favorece la integración de la gestión ambiental con el planeamiento minero, promoviendo una operación técnica, ambientalmente responsable y alineada con los procesos de formalización.

Tabla 8-9
Identificación de nivel de impactos y cómo actuar



NIVEL DE IMPACTO	MARQUE CON UNA X EL NUMERAL DEL IMPACTO IDENTIFICADO EN EL PASO ANTERIOR	¿QUÉ DEBO HACER?	
ALTO	☐	1	▪ Implementar control técnico inmediato. ▪ Aplicar las medidas correctivas y de mitigación. ▪ Realizar seguimiento mensual. ▪ Registrar evidencia (fotos o bitácora). ▪ Informar al responsable ambiental.
	☐	2	
	☐	5	
	☐	6	
	☐	8	
	☐	9	
	☐	10	
	☐	13	
	☐	15	
MEDIO	☐	3	▪ Aplicar medidas preventivas. ▪ Seguimiento trimestral. ▪ Registro básico, bitácora, fotografías.
	☐	7	
	☐	11	
	☐	12	
BAJO	☐	4	▪ Aplicar buenas prácticas operativas. ▪ Aplicar medidas de compensación. ▪ Orden y limpieza permanente. ▪ Revisión semestral. ▪ Registro simple en bitácora (fecha y acción realizada).
	☐	14	

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

La definición de las medidas de manejo ambiental constituye una etapa fundamental del planeamiento minero, ya que permite incorporar acciones orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos ambientales identificados durante la evaluación del proyecto. Estas medidas deben formularse desde las etapas iniciales de planifica-

ción, de manera que puedan integrarse de forma articulada en los instrumentos técnicos, ambientales y operacionales del proyecto minero.

La **Figura 8-4** presenta una metodología para verificar la correspondencia entre los impactos ambientales identificados y las medidas de manejo

propuestas, facilitando su incorporación en el Plan de Manejo Ambiental (PMA) y en los demás instrumentos de planificación del proyecto. Como complemento, el Anexo 8.1 incluye una lista de verificación para apoyar el planeamiento ambiental de proyectos mineros.

Figura 8-4

Paso a paso para gestionar impactos



Figura 8-5

Tipo de medidas a implementar

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	Reperfil 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, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos 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

La gestión adecuada de materiales y residuos debe planificarse desde las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto minero, incluyendo la exploración, construcción y montaje, explotación, beneficio, transformación, cierre y postcierre.

Esta planificación comprende la identificación de los materiales y residuos que se generarán durante la operación, la estimación de sus cantidades y características, así como la definición de las alternativas para su almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento y disposición final, de conformidad con la normativa ambiental vigente y las condiciones particulares del proyecto.

8.3.2 Material estéril

El manejo del material estéril constituye uno de los aspectos ambientales más relevantes del planeamiento minero, debido a su influencia sobre la estabilidad física del terreno, el manejo de aguas superficiales, la generación de sedimentos y el proceso de recuperación ambiental del área intervenida.

Durante la planificación del proyecto se recomienda caracterizar el material estéril generado, estimar los volúmenes previstos e identificar las áreas destinadas para su disposición, considerando criterios de estabilidad geotécnica, drenaje superficial, accesibilidad y los requisitos establecidos por la autoridad ambiental competente para las **Zonas de Manejo de Escombros y Materiales de Excavación (ZODME)**.

La **Figura 8-6** presenta un esquema conceptual que ilustra los principales puntos de generación del material estéril durante el proceso minero y su integración en la planificación ambiental y operativa del proyecto.

Figura 8-6

Disposición adecuada para materiales estériles a partir de proceso minero



Con base en esta información, el planeamiento minero debe contemplar una secuencia de actividades orientadas a la selección del sitio, adecuación del terreno, disposición controlada del material, conformación final del depósito y recuperación progresiva de las áreas intervenidas.



Figura 8-7

Disposición adecuada para materiales estériles a partir de proceso minero

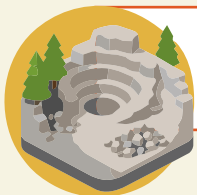


Como apoyo a este proceso, las **Figuras 8-7 y 8-8** presentan ejemplos de buenas prácticas para la disposición de material estéril en ZODME y la revegetalización de taludes como parte de las estrategias de restauración ambiental.

El manejo de las aguas de escorrentía asociadas a las ZODME se desarrolla en el apartado correspondiente a la Gestión del Recurso Hídrico desde el Planeamiento Minero, donde se describen las medidas para su conducción, control y monitoreo.



PROCESO DE REVEGETALIZACIÓN DE TALUDES

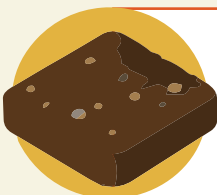


1. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS PRELIMINAR

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

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

Planeación del seguimiento y control

El seguimiento y control de las ZODME debe planificarse desde las etapas iniciales del proyecto, definiendo las actividades de inspección, monitoreo y verificación necesarias para evaluar el desempeño ambiental de estas áreas durante la operación y el cierre de la mina.

La **Tabla 8-10** presenta las principales actividades de seguimiento asociadas a la gestión del material estéril, indicando la periodicidad de evaluación y los registros requeridos para verificar el cumplimiento de las medidas relacionadas con el diseño, la estabilidad física, el control de la erosión, el manejo de aguas y la recuperación progresiva de las áreas intervenidas.

Tabla 8-10
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.



8.3.3 Gestión de residuos sólidos ordinarios y peligrosos

La gestión de residuos sólidos ordinarios y peligrosos constituye un componente fundamental del planeamiento ambiental de los proyectos de pequeña minería, al permitir la prevención de riesgos para la salud humana, la protección de los recursos naturales y el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable.

La planificación de la gestión de residuos comprende la identificación, clasificación en la fuente, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos generados durante las diferentes fases del proyecto minero, incluyendo la exploración, construcción y montaje, explotación, beneficio, cierre y poscierre.

Como parte del proceso de planeamiento, se recomienda estimar los tipos y cantidades de residuos que se generarán en cada etapa de la operación, diferenciando los residuos sólidos ordinarios de los residuos peligrosos, con el fin de definir las estrategias de manejo más apropiadas para cada categoría.

La **Figura 8-9** presenta una metodología orientadora para la gestión de residuos sólidos en proyectos de pequeña minería, integrando las principales etapas de identificación, clasificación, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final conforme a las buenas prácticas ambientales y a la normativa vigente.

Figura 8-9
 Lista de requisitos para tramites ambientales ante la autoridad ambiental

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, la **Figura 8-10** presenta un ejemplo de clasificación de un punto ecológico y de un área destinada al almacenamiento temporal de Residuos Peligrosos (RESPEL) para proyectos de pequeña minería de oro en proceso de formalización. Este

esquema constituye una referencia para la planificación de la gestión integral de residuos, facilitando la separación en la fuente, el almacenamiento temporal y la disposición final conforme a las buenas prácticas ambientales y la normativa vigente.

Figura 8-10
Ejemplo de clasificación de punto ecológico y área de almacenamiento temporal de RESPEL



Planeación del seguimiento y control de residuos sólidos ordinarios y peligrosos

El seguimiento y control de la gestión de residuos sólidos constituye un componente fundamental del desempeño ambiental del proyecto minero, al permitir evaluar la eficacia de las medidas implementadas y verificar el cumplimiento de los objetivos establecidos en el Plan de Gestión Integral de Residuos.

Para este propósito, se recomienda definir indicadores asociados a la separación en la fuente, el aprovechamiento de materiales reciclables, el tratamiento de residuos orgánicos, la gestión de residuos no aprovechables y la disposición adecuada de los residuos peligrosos. Estos indicadores faci-

litan la evaluación periódica del desempeño mediante la comparación entre las cantidades programadas y las efectivamente gestionadas.

La planificación del seguimiento debe incluir la definición de las actividades de verificación, la periodicidad de evaluación, los responsables y los registros requeridos para evidenciar la correcta gestión de los residuos durante las diferentes etapas del proyecto minero.

La **Tabla 8-11** presenta un ejemplo de metodología para el seguimiento y control de la gestión de residuos sólidos ordinarios y peligrosos, la cual puede utilizarse como referencia para incorporar estos aspectos dentro del planeamiento ambiental del proyecto.

Tabla 8-11
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.

8.3.4 Gestión del Recurso hídrico desde el planeamiento

La gestión integral del recurso hídrico constituye un componente estratégico del planeamiento minero, debido a la importancia de las aguas superficiales y subterráneas para el funcionamiento de los ecosistemas, el abastecimiento de las comunidades y el desarrollo sostenible de las actividades productivas. En este contexto, la planificación de las operaciones mineras debe incorporar medidas orientadas a prevenir la contaminación, optimizar el uso del agua y proteger las fuentes hídricas presentes en el área de influencia del proyecto.

Gestión del recurso hídrico en la minería de oro de filón

En la minería de oro de filón pueden presentarse afectaciones al recurso hídrico asociadas a las labores subterráneas, la exposición de materiales potencialmente generadores de drenaje ácido, el manejo inadecuado de aguas de mina y la utilización de insumos durante el beneficio del mineral. Por esta razón, el planeamiento minero debe incorporar criterios técnicos que permitan identificar estas fuentes potenciales de impacto y definir las medidas necesarias para prevenir, controlar y monitorear sus efectos sobre las aguas superficiales y subterráneas (ANM, 2021; SGC, 2017).



La Figura 8-11 presenta las principales actividades desarrolladas en la minería de oro de filón que pueden generar impactos sobre el recurso hídrico, así como las buenas prácticas ambientales recomendadas para su manejo durante las diferentes etapas del proyecto.

Figura 8-11
 Identificación de impactos de minería de oro sobre el recurso hídrico

SELECCIÓN DEL PUNTO ECOLÓGICO Y PUNTO RESPEL		
Exposición de materiales sulfurados en frentes de explotación, botaderos y galerías.	 Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por lixiviación de metales y sulfuros.	• Defina y diseñe sistemas de drenaje para aguas de contacto. • Planifique la captación, conducción y tratamiento de aguas con potencial generación de drenaje ácido. • Considere monitoreo de calidad del agua desde la etapa de diseño.
Formación de drenaje ácido de mina (DAM) por oxidación de minerales sulfurados.	 Generación de drenaje ácido que reduce el pH del agua y moviliza metales pesados.	• Defina zonas para disposición de estériles en ZODME con diseño estable. • Planifique obras de contención, cunetas perimetrales y estructuras de control de erosión. • Considere la revegetalización progresiva como parte del plan de cierre.
Manejo inadecuado de estériles y escombros generados en la explotación.	 Aumento de sólidos en suspensión, sedimentación y alteración de la calidad del agua.	• Defina zonas para disposición de estériles en ZODME con diseño estable. • Planifique obras de contención, cunetas perimetrales y estructuras de control de erosión. • Considere la revegetalización progresiva como parte del plan de cierre.
Afectación de aguas superficiales y subterráneas por escorrentía, infiltraciones o vertimientos sin control.	 Contaminación de aguas superficiales y subterráneas, pérdida de calidad y posibles conflictos por uso.	• Defina obras hidráulicas para controlar escorrentías e infiltraciones. • Planifique sistemas de tratamiento (sedimentación, neutralización, filtración) según la calidad del agua esperada. • Considere protección de fuentes hídricas y zonas de ronda por uso.
Manejo inadecuado de reactivos utilizados en el beneficio del oro.	 Riesgo de contaminación de aguas y suelos por derrames o almacenamiento inadecuado de reactivos.	• Defina áreas para almacenamiento seguro de reactivos, con cubetas y techos. • Planifique la gestión de derrames, contingencias y disposición de residuos peligrosos. • Considere capacitación y procedimientos para el manejo seguro de reactivos.

Las medidas propuestas están orientadas a prevenir la alteración de la calidad y disponibilidad del recurso hídrico mediante la implementación de tecnologías limpias, el manejo adecuado de aguas de mina, el control de sedimentos, la prevención de vertimientos y la protección de las fuentes hídricas.

En este contexto, es importante destacar que el uso de mercurio en las actividades de explotación y beneficio de oro se encuentra prohibido en Colombia, (Ley 1658, 2013), la cual estableció su eliminación progresiva y su prohibición total en la minería aurífera a partir de 2018.

En consecuencia, las operaciones mineras deben incorporar tecnologías y prácticas que eliminen el uso de este elemento y reduzcan los riesgos para la salud humana y el ambiente.

La incorporación de buenas prácticas ambientales desde el planeamiento minero, complementadas con programas de seguimiento, monitoreo y mejora continua, contribuye a la protección del recurso hídrico y favorece el desarrollo de una minería responsable y ambientalmente sostenible.

La **Figura 8-12** presenta una propuesta metodológica para el seguimiento y monitoreo ambiental del recurso hídrico en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Figura 8-12
Propuesta de seguimiento y monitoreo ambiental para minería de oro de filón

PROPUESTA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO AMBIENTAL	
	CALIDAD DEL AGUA Qué monitorear: • pH, sulfatos, metales • Conductividad • Puntos de descarga Frecuencia: Trimestral
	CAUDALES Y DRENAJES Qué monitorear: • Medición de caudales • Funcionamiento de drenajes • Control de escorrentías Frecuencia: Trimestral
	INFRAESTRUCTURA Y BOTADEROS Qué monitorear: • Niveles freáticos (piezómetros) • Obras hidráulicas • Sistemas de contención • Estabilidad de botaderos Frecuencia: Semestral
	DOCUMENTOS DE RESPALDO Debes presentar: • Informes de laboratorio • Registros de monitoreo y medición • Informes hidrológicos • Actas de inspección • Registros fotográficos • Listas de chequeo

8.3.5 Gestión de Emisiones Atmosféricas

La gestión de las emisiones atmosféricas en la minería de oro es una buena práctica fundamental para reducir los impactos ambientales y proteger la salud de los trabajadores, las comunidades cercanas y el entorno natural. Durante el planeamiento del proyecto minero, asegúrese de identificar las actividades que pueden generar emisiones atmosféricas durante las etapas de exploración, construcción y montaje, explotación y beneficio y transformación del mineral. Con esta información, defina las medidas orientadas a prevenir y controlar la generación de material particulado, emisiones de gases y ruido, así como los mecanismos de seguimiento que permitan verificar su efectividad y el cumplimiento de la normativa ambiental aplicable. La Tabla 8-12 presenta ejemplos de buenas prácticas que pueden incorporarse al planeamiento de la gestión de emisiones atmosféricas en la minería de oro de filón.

Tabla 8-12

Gestión de emisiones atmosféricas.

Impacto y/o Fuente	Actividad que la causa	Buenas Prácticas Ambientales	Propuesta Seguimiento y Monitoreo		
			Descripción	Periodicidad	Registro de Cumplimiento
Material particulado (polvo): ZODME, vías.	Trituración, molienda, transporte de material aurífero	Sistemas de captación y filtros en molinos. Ejem: Campanas de extracción local.	Verificar filtros limpios y operativos.	Semanal	Acta de mantenimiento / registro fotográfico
		Humectación de material y puntos de descarga.	Medir humedad y confirmar presencia de sistemas de aspersión.	Diario	Bitácora de riego
		Cubrimiento con lonas en transporte interno del mineral.	Revisar que los vehículos salgan con carga completamente cubierta.	Diario	Lista de chequeo en portería
		Control de velocidad para evitar resuspensión.	Revisión de señalización y cumplimiento del límite.	Semanal	Registro de vigilancia
Emisiones de gases	Funcionamiento de plantas, motobombas, vehículos, plantas diésel y cualquier equipo de combustión.	Mantenimiento periódico y regulación de motores.	Revisar cumplimiento del programa de mantenimiento.	Trimestral	Informe de mantenimiento
		Control de opacidad en motores diésel.	Verificación de emisión visible y pruebas periódicas.	Semestral	Registro de opacidad
Ruido	Operación de planta de beneficio, molinos, compresores	Mantenimiento preventivo.	Revisar sellos, silenciadores y anclajes de maquinaria.	Mensual	Checklist
		Barreras acústicas en zonas de molienda.	Inspección visual de barreras e integridad de materiales.	Mensual	Registro fotográfico
		Uso de EPP	Confirmar uso de protectores auditivos.	Diario	Lista de verificación SST



8.3.6 Gestión de la biodiversidad y servicios ecosistémicos

La conservación de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos constituye un componente estratégico del planeamiento minero, debido a la estrecha relación entre la actividad extractiva y la integridad ecológica de los territorios donde se desarrolla. En la minería de oro de filón, las actividades de explotación pueden generar cambios sobre la cobertura vegetal, los hábitats naturales, la conectividad y los procesos ecológicos que sustentan la provisión de bienes y servicios ecosistémicos.

La incorporación de criterios de gestión de la biodiversidad desde las etapas iniciales del planeamiento permite identificar áreas de importancia ambiental, prevenir la fragmentación del paisaje, proteger ecosistemas sensibles y establecer medidas orientadas a evitar, minimizar, restaurar y,

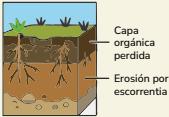
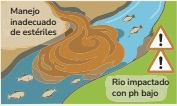
cuando corresponda, compensar los impactos ambientales generados por la actividad minera.

De igual manera, la planificación de las medidas de manejo favorece la recuperación progresiva de las áreas intervenidas, la conservación de corredores ecológicos y la protección de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación hídrica, la estabilidad del suelo, el control de la erosión y el mantenimiento del hábitat para la fauna y la flora.

La **Tabla 8-13** presenta los principales impactos potenciales sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, así como las medidas de manejo recomendadas para su incorporación en el planeamiento ambiental de proyectos de pequeña minería de oro.

Tabla 8-13

Identificación de impactos de minería de oro subterráneo sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos

ACTIVIDADES QUE LA CAUSA		IMPACTO Y/O FUENTE		BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES
Apertura de frentes de explotación, adecuación de accesos y zonas operativas		Pérdida de coberturas vegetales en bosques riparios, galerías y áreas de recarga		Delimitación y exclusión de áreas de alto valor de conservación (bosques protectores, rondas hídricas, humedales, áreas estratégicas); diseño de la operación por etapas y mantenimiento de franjas de protección con vegetación nativa
Intervención dispersa de áreas boscosas y eliminación de corredores naturales		Fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica		Conservación de relictos vivos, mantenimiento de corredores biológicos y establecimiento de acuerdos de conservación con comunidades locales
Remoción de vegetación natural y alteración de suelos		Disminución de servicios ecosistémicos (regulación hídrica, control de erosión, provisión de hábitat)		Implementación de programas de restauración ecológica y generación de áreas de compensación en predios estratégicos
Pérdida de cobertura, ruido y presencia permanente de maquinaria		Afectación de la fauna silvestre y de sus áreas de refugio		Restauración progresiva con especies nativas y mantenimiento de franjas de amortiguación ecológica

La implementación efectiva de medidas de compensación y conservación complementaria, junto con un seguimiento sistemático de la cobertura vegetal y la funcionalidad ecológica, constituye una herramienta esencial para reducir las presiones asociadas a la actividad minera y asegurar la sostenibilidad ambiental en el territorio (Figura 8-13).

Figura 8-13
Ilustración de las medidas de seguimiento y monitoreo

PROPUESTA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

MONITOREO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO
 Monitoreo de cobertura vegetal y cambios de uso del suelo mediante fotografías georreferenciadas o imágenes satelitales de apoyo.
 Periodicidad: Semestral

SEGUIMIENTO DE CORREDORES BIOLÓGICOS
 Seguimiento a la continuidad de coberturas y funcionalidad de corredores mediante recorridos de campo y verificación cartográfica.
 Periodicidad: Anual

SEGUIMIENTO DE FAUNA EN CORREDORES BIOLÓGICOS
 Seguimiento a la continuidad de especies (fauna) y funcionalidad de corredores mediante recorridos de campo y verificación cartográfica.
 Periodicidad: Anual

PROCESOS DE RESTAURACIÓN
 Evaluación de indicadores de recuperación (cobertura vegetal, supervivencia de especies, estabilidad del suelo).
 Periodicidad: Semestral

VERIFICACIÓN METAS DE RESTAURACIÓN
 Verificación del cumplimiento de metas de restauración y permanencia de áreas compensadas.
 Periodicidad: Anual

DOCUMENTOS DE RESPALDO: Informes de seguimiento ambiental, informes técnicos, actas de verificación en campo, informes de restauración, registros de mantenimiento, reportes de cumplimiento y registros fotográficos

8.3.7 Gestión de áreas de beneficio y transformación del del oro de filón.

El beneficio del oro de filón comprende el conjunto de operaciones mediante las cuales el mineral extraído es preparado para recuperar el metal valioso contenido en la mena. Estas operaciones se fundamentan principalmente en procesos físicos y fisicoquímicos destinados a liberar el oro de la roca

encajante y concentrarlo antes de su transformación, sin incluir procesos industriales avanzados de refinación.

La planificación del área de beneficio constituye un componente estratégico del proyecto minero, de-



bido a que influye directamente en la eficiencia del proceso productivo, el consumo de agua y energía, la gestión de residuos, el manejo de relaves, la prevención de riesgos tecnológicos y el desempeño ambiental de la operación.

La **Figura 8-14** presenta las principales etapas que conforman el proceso de beneficio del oro de filón.

Figura 8-14
Actividades para el beneficio de oro de filón



Entre las operaciones unitarias más representativas se encuentran:

- Liberación del oro mediante procesos de reducción de tamaño del mineral.
- Separación del oro de la ganga mediante métodos gravimétricos u otros procesos de beneficio autorizados por la normativa vigente.
- Obtención de un concentrado mineral o de un producto intermedio, como el doré, para su posterior comercialización o procesamiento.

Transformación

En la pequeña minería de oro, la etapa de transformación comprende principalmente la fundición primaria del concentrado para la obtención de doré, sin incorporar procesos industriales de refinación.

Planeamiento del área de beneficio

La localización y el diseño del área de beneficio deben definirse durante el planeamiento minero e integrarse desde las etapas iniciales de formulación del proyecto, considerando su interacción con las labores de explotación, el manejo ambiental y la infraestructura de apoyo.

Su diseño debe responder a criterios técnicos relacionados con la capacidad de producción prevista, el método de explotación, las condiciones topográficas, la disponibilidad del recurso hídrico, el manejo de materiales, la gestión de residuos y relaves, la estabilidad geotécnica, la seguridad industrial y las determinantes ambientales y de ordenamiento territorial aplicables.

La **Figura 8-15** presenta los principales criterios técnicos que deben considerarse para la localización y el diseño del área de beneficio en proyectos de pequeña minería de oro de filón.

Figura 8-15
 Criterios mínimos a tener en cuenta para la definición de las áreas de beneficio de la minería de oro de filón

ESTABILIDAD GEOTÉCNICA	MANEJO HÍDRICO
 TERRENO ESTABLE Seleccione áreas con condiciones geotécnicas adecuadas y baja susceptibilidad a fallas.	 AGUAS LIMPIAS / AGUAS DE PROCESO Diseñe sistemas separados para aguas limpias y aguas de proceso.
 EVITAR ZONAS INESTABLES No localice el área de beneficio en laderas inestables o zonas con alta	 CANALES PERIMETRALES Incorpore canales perimetrales para desviar aguas superficiales y proteger el área de beneficio.
 NO SOBRE RELLENOS Evite ubicar el área de beneficio sobre rellenos antrópicos o materiales no compactados.	 RECIRCULACIÓN DE AGUA Promueva la recirculación y uso eficiente del agua en el proceso.
 CAPACIDAD PORTANTE Verifique que el terreno tenga la capacidad para soportar la infraestructura y equipos.	 PISCINAS DE SEDIMENTACIÓN Diseñe y ubique piscinas de sedimentación para el tratamiento de aguas de proceso.
 TERRAZAS Y DRENAJE Defina terrazas estables e incorpore un sistema de drenaje adecuado para controlar escorrentías y evitar erosión.	EVITE LOCALIZAR EL ÁREA DE BENEFICIO: • En rondas hídricas • En zonas de inundación • En nivel freático superficial • Cercano a nacederos • En áreas con alta recarga hídrica
 Planifique la estabilidad del terreno durante el planeamiento minero para reducir riesgos y asegurar la operación del proyecto.	 La gestión hídrica planificada protege el recurso, reduce riesgos y mejora la eficiencia del proceso.

Impactos ambientales asociados al beneficio del oro de filón

Las actividades desarrolladas durante el beneficio del oro de filón, como la perforación, la voladura, el transporte del mineral, la trituración, la concentración y las operaciones de beneficio, pueden generar impactos sobre el suelo, el recurso hídrico, la calidad del aire, el paisaje y la estabilidad del terreno cuando no se incorporan, desde el planeamiento minero, criterios técnicos y ambientales para su adecuada gestión (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2016).

La integración de medidas de prevención, mitigación, corrección y seguimiento desde las etapas iniciales del proyecto permite reducir estos impactos y fortalecer la articulación entre el planeamiento minero, los instrumentos de gestión ambiental, el ordenamiento territorial y los programas de seguridad minera.

La **Tabla 8-14** presenta una propuesta de buenas prácticas ambientales asociadas a las principales actividades del beneficio del oro de filón y a los impactos potenciales que pueden generarse durante su desarrollo.

Tabla 8-14
Impactos ambientales asociados y gestión en áreas de beneficio

Actividad del proceso	Impacto ambiental generado	Buenas prácticas
Recepción y acopio del mineral	Generación de material particulado y arrastre de finos por escorrentía.	Humectación controlada, pisos compactados y canales perimetrales.
Trituración	Emisión de polvo y ruido.	Sistemas de captación de polvo, mantenimiento de equipos y barreras acústicas.
Molienda	Generación de lodos y alto consumo de agua.	Implementación de circuito cerrado de agua y control de sólidos.
Concentración gravimétrica	Descarga de finos y sólidos en suspensión.	Instalación de trampas de sedimentos y recirculación de agua.
Procesos químicos (cuando estén autorizados)	Riesgo de contaminación por reactivos.	Infraestructura impermeabilizada, contención secundaria y plan de contingencias.
Fundición primaria	Emisión de gases y material particulado fino.	Sistemas de extracción localizada y control de emisiones.
Manejo de relaves	Inestabilidad física y potencial contaminación hídrica.	Diseño técnico del depósito, drenajes controlados y monitoreo de calidad de agua.

8.3.8 Gestión social integrada al planeamiento minero

La gestión social constituye un componente estratégico del planeamiento minero, dado que la viabilidad y sostenibilidad de un proyecto dependen no solo de sus condiciones técnicas y económicas, sino también de la relación que establece con las comunidades, las autoridades y los demás actores presentes en el territorio.

La incorporación de criterios sociales desde las etapas iniciales de planificación permite identificar las características del área de influencia, fortalecer los mecanismos de participación y diálogo, gestionar de manera oportuna las expectativas de los grupos de interés y promover relaciones de confianza que favorezcan el desarrollo del proyecto.

Asimismo, los aspectos sociales pueden influir en decisiones relacionadas con el dimensionamiento de la operación, la secuencia de explotación, la programación de las actividades y la implementación de medidas de manejo ambiental y social, razón por la cual deben integrarse de manera transversal al proceso de planeamiento minero.

La **Figura 8-16** presenta el esquema de articulación entre el planeamiento minero y la gestión social, resaltando los principales componentes que deben considerarse para fortalecer la sostenibilidad del proyecto y su relacionamiento con el territorio.

Figura 8-16

Guía para una gestión social responsable



EJEMPLO	RESULTADO
1. VIVIENDAS CERCANAS: ▪ Parte del yacimiento está cerca de casas. ▪ Esa zona no se puede explotar. ▪ Se saca del diseño de la mina.	La reserva es menor.
2. CONFLICTO CON LA COMUNIDAD ▪ Hay problemas sociales en una zona. ▪ Se decide empezar por otro sector o trabajar más despacio. ▪ Cambia la secuencia de minado y el cronograma.	El plan de la mina se ajusta.
3. COMPROMISOS SOCIALES O REASENTAMIENTO: ▪ Se deben hacer obras sociales o apoyar un proceso de reasentamiento. ▪ Esto cuesta dinero y toma tiempo.	Aumentan los costos y cambian los tiempos del proyecto.



Cierre y postcierre desde la etapa de planeamiento
El cierre y postcierre minero constituyen componentes esenciales del ciclo de vida del proyecto y, por tanto, deben incorporarse desde las etapas iniciales del planeamiento. Su integración temprana permite prever las acciones necesarias para la recuperación progresiva de las áreas intervenidas, la estabilización física y química de las obras mineras, la restauración ambiental y la gestión de los riesgos que puedan persistir una vez finalizada la explotación.

La planificación del cierre debe articularse con las decisiones relacionadas con el diseño de la mina, el manejo de estériles y residuos, la gestión del recurso hídrico, la recuperación de la cobertura vegetal y las estrategias de seguimiento ambiental, de manera que las medidas previstas puedan implementarse de forma progresiva durante el desarrollo del proyecto.

La **Figura 8-17** presenta una lista de verificación con los principales aspectos técnicos, ambientales y operacionales que deben contemplarse durante las diferentes fases del proyecto para facilitar la planificación del cierre y postcierre minero.

Figura 8-17
Lista de chequeo para cierre minero

1 PLANEAMIENTO (ANTES DE INICIAR EXPLOTACIÓN) ✓ Definir rehabilitación de áreas. ✓ Incluir el cierre en el diseño. ✓ Identificar riesgos físicos, químicos y ambientales. ✓ Estimar costos de cierre. ✓ Planificar manejo de estériles y accesos.	
2 DURANTE LA OPERACIÓN (CIERRE PROGRESIVO) ✓ Estabilizar taludes. ✓ Disponer estériles. ✓ Revegetación progresiva. ✓ Controlar drenajes. ✓ Registrar actividades.	4 SUSPENSIÓN TEMPORAL ✓ Asegurar frentes y accesos. ✓ Estabilizar bodeadores ✓ Mantener control de aguas.
3 CIERRE FINAL (AL FINALIZAR LA EXPLOTACIÓN) ✓ Garantizar estabilidad física. ✓ Controlar calidad de aguas. ✓ Desmantelar infraestructura. ✓ Obras de recuperación.	5 ETAPA DE POSTCIERRE ✓ Monitoreo ambiental. ✓ Verificar estabilidad. ✓ Mantenimiento de obras.

8.4 Demás consideraciones ambientales

Además de las medidas de manejo ambiental, el planeamiento minero debe incorporar los requisitos administrativos, técnicos y normativos necesarios para garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental vigente. La integración de estos aspectos desde las etapas iniciales del proyecto fortalece la gestión ambiental, facilita los procesos de evaluación por parte de la autoridad competente y contribuye al adecuado seguimiento y control durante todo el ciclo de vida de la operación minera.

8.4.1 Permisos menores

Los permisos menores corresponden a autorizaciones ambientales específicas requeridas para la ejecución de determinadas actividades asociadas al proyecto minero. Su gestión hace parte del proceso integral de licenciamiento ambiental y debe articularse con los instrumentos de planificación y manejo ambiental aplicables, garantizando que las intervenciones se desarrollen conforme a los requisitos técnicos y legales establecidos por la autoridad ambiental competente.

- La **Figura 8-18** presenta un esquema general de los principales permisos menores que pueden requerirse durante el desarrollo de un proyecto de pequeña minería, así como su articulación con el proceso de licenciamiento ambiental y los instrumentos de gestión del proyecto.



Figura 8-18
Definir la presentación de permisos menores



Tabla 816
Permisos menores asociados al planeamiento minero.

Permiso	Normatividad	¿Cuándo se debe tramitar?	Ejemplos prácticos
Concesión de aguas superficiales	- Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.3.2.7.1 (obligatoriedad). - Procedimiento: Art. 2.2.3.2.9.1 (presentación del Formato Único y anexos).	Cuando la mina capta agua directamente de ríos, quebradas, lagos o nacimientos.	- Extraer agua de una quebrada con motobomba para lavar material. - Captar agua del río para humectar vías y controlar el polvo. - Construir una pequeña represa o tanque que almacene agua superficial para la operación.



Concesión de agua subterránea	- Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.3.2.16.14 (obligatoriedad). - Procedimiento: Art. 2.2.3.2.9.1 (presentación del Formato Único y anexos).	Cuando se perfora o utiliza un pozo profundo para abastecer la mina.	- Perforar un pozo para obtener agua a ser utilizada en el campamento o proceso. - Usar un pozo existente, incluso viejo, para abastecer la operación. - Instalar una motobomba para extraer agua subterránea.
Permiso de ocupación de cauce	- Decreto 1076, 2015, art. 2.2.3.2.12.1. - Código Nacional de Recursos Naturales (Decreto 2811, 1974, art.102). - Procedimiento: Formato Único de Ocupación de Cauces, Playas y Lechos.	Cuando se construyan obras que ocupen o alteren el cauce natural de una corriente.	- Instalar alcantarillas o puentes para el paso de maquinaria. - Hacer un desvío temporal del cauce para extraer material. - Construir gaviones, muros, box culverts o pasos hidráulicos en el cauce. - Enterrar tuberías o mangueras a través del lecho de un río.
Permiso de emisiones atmosféricas fuentes fijas	Decreto 1076, 2015 (régimen de emisiones de fuentes fijas, requisitos y procedimiento).	Cuando se instalan equipos fijos que emitan contaminantes a la atmósfera.	Operar una trituradora o clasificadora de agregados. NOTA: maquinaria móvil como retroexcavadoras, volquetas y tractores no requiere permiso de emisiones.
Aprovechamiento forestal único	- Decreto 1076, 2015 (régimen forestal). - Formato Único Nacional de Aprovechamiento Forestal.	Cuando se requiere talar árboles o remover vegetación natural para habilitar zonas de minería.	- Retirar árboles para abrir túneles o bancos de explotación. - Talar vegetación nativa para vías de acceso.
Permiso de vertimiento	- Decreto 1076, 2015 (régimen de vertimientos). - Formato Único Nacional de Permiso de Vertimientos a cuerpo de agua o al suelo.	Cuando la actividad minera genera aguas residuales que se descargan a un cuerpo de agua o al suelo.	- Descargar agua de mina a ríos, quebradas o suelo. - Verter aguas con sedimentos provenientes de canales de drenaje. - Disponer aguas residuales sanitarias en pozos de infiltración. - Infiltrar aguas tratadas del campamento a campo abierto.

8.4.2 Instrumentos técnicos y herramientas de consulta para el planeamiento ambiental

La planificación ambiental de los proyectos de pequeña minería requiere la consulta permanente de los instrumentos técnicos, normativos y metodológicos emitidos por las autoridades competentes. Estos documentos proporcionan los lineamientos para la formulación de los estudios ambientales, la gestión de permisos, la implementación de medi-

das de manejo y el cumplimiento de las obligaciones ambientales aplicables al proyecto.

La **Tabla 8-17** presenta una recopilación de los principales instrumentos técnicos y normativos que pueden consultarse como apoyo para el planeamiento ambiental y el proceso de formalización minera. Estos recursos constituyen una fuente de referencia para la elaboración de los diferentes componentes ambientales del proyecto y para la actualización permanente de los requisitos regulatorios aplicables.



Tabla 8-17
Instrumentos técnicos y herramientas de consulta para el planeamiento ambiental

Documento	Entidad responsable	Finalidad
Resolución 1830 de 2024	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Términos de referencia para la Licencia Ambiental Temporal.
Resolución 2206 de 2016	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Términos de referencia para Estudios de Impacto Ambiental en minería.
Decreto 1076 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente.
Guías Minero-Ambientales	Agencia Nacional de Minería	Orientaciones para la gestión ambiental en proyectos mineros.
Términos de Referencia del Plan de Gestión Social	Agencia Nacional de Minería	Lineamientos para la formulación del Plan de Gestión Social.
Resolución 1256 de 2021	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Reglas para el uso de aguas residuales tratadas.
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Política para la gestión sostenible del recurso hídrico.
Listado de Impactos Ambientales Específicos (2021)	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Herramienta metodológica para la identificación y valoración de impactos ambientales.



9 PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN FINANCIERA

La planificación y gestión financiera es un componente fundamental del planeamiento minero, ya que permite estimar las inversiones, los costos de operación, los ingresos esperados y los recursos necesarios para desarrollar una explotación rentable y sostenible. En la pequeña minería de oro, donde los recursos suelen ser limitados y las condiciones del mercado pueden cambiar con frecuencia, planificar las finanzas facilita la toma de decisiones antes de iniciar la explotación y durante el desarrollo de la operación.



Planificar financieramente una mina implica estimar las inversiones requeridas (CAPEX), proyectar los costos de operación (OPEX), definir las fuentes de financiación, elaborar presupuestos y analizar diferentes escenarios que permitan anticipar cambios en los costos, la producción o el precio del oro. Esta información facilita organizar los recursos disponibles, evaluar alternativas de inversión y respaldar las decisiones necesarias para el desarrollo del proyecto.

Cuando una operación no cuenta con una adecuada planificación financiera, es posible subestimar los costos de producción, sobreestimar los ingresos o realizar inversiones que superen la capacidad económica de la mina. Estas situaciones pueden afectar la rentabilidad, generar dificultades para mantener la operación y limitar el crecimiento del proyecto. Por ello, este capítulo presenta buenas prácticas y herramientas que apoyan la planificación financiera y la toma de decisiones durante las diferentes etapas del planeamiento minero.

9.1 Identificación de costos directos e indirectos

La identificación y clasificación de los costos constituye una actividad fundamental para la planificación financiera de un proyecto minero, al permitir estimar los recursos necesarios para su desarrollo y evaluar su viabilidad económica antes del inicio de la explotación.

Esta clasificación facilita la elaboración de presupuestos, la programación de inversiones, la estimación del costo de producción, la proyección de flujos de caja y el análisis de escenarios económicos que apoyan la toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto.

Desde las etapas iniciales del planeamiento minero es conveniente diferenciar los costos directamente asociados con la producción de aquellos relacionados con las actividades de apoyo, administración,

seguridad y salud en el trabajo, gestión ambiental, gestión social y demás procesos requeridos para el funcionamiento de la operación.

Como punto de partida, este apartado presenta los conceptos de inversiones de capital (CAPEX) y costos operacionales (OPEX), los cuales constituyen la base para la elaboración de presupuestos, la evaluación financiera y el análisis de la rentabilidad del proyecto.

9.1.1 Inversiones de capital (CAPEX)

Las inversiones de capital (CAPEX) corresponden a los recursos destinados a la adquisición, construcción o adecuación de los activos necesarios para iniciar y mantener la capacidad productiva de una operación minera durante su vida útil.

En proyectos de pequeña minería de oro, estas inversiones incluyen, entre otros, la adquisición de maquinaria y equipos, sistemas de ventilación, infraestructura eléctrica, obras civiles, desarrollo de labores mineras, instalaciones para beneficio del mineral y demás activos indispensables para garantizar una operación segura, eficiente y ambientalmente responsable.

La estimación del CAPEX durante el planeamiento minero permite cuantificar las necesidades de inversión, programar su ejecución y evaluar alternativas técnicas y económicas para el desarrollo del proyecto. Asimismo, facilita la priorización de inversiones considerando criterios de seguridad minera, desempeño ambiental, continuidad operacional, productividad y disponibilidad de recursos financieros.

Desde el punto de vista contable, las inversiones de capital se reconocen como activos y su costo se recupera gradualmente mediante los procesos de depreciación o amortización, según la naturaleza del bien.

La **Figura 9-1** presenta ejemplos de las principales inversiones de capital requeridas en una operación de pequeña minería de oro.

Figura 9-1
Inversiones y activos a largo plazo



Desde las etapas iniciales del planeamiento minero es fundamental incorporar las inversiones requeridas para el cumplimiento de los requisitos técnicos, ambientales, de seguridad y de las demás obligaciones aplicables a la actividad minera. La estimación temprana de estas inversiones permite evaluar la viabilidad económica del proyecto, reducir la incertidumbre financiera y garantizar la disponibilidad de los recursos necesarios para el desarrollo de la operación.

La planificación del CAPEX debe considerar la capacidad de producción proyectada, la disponibilidad de recursos financieros, las alternativas de financiación, el nivel de endeudamiento y su incidencia sobre el flujo de caja del proyecto. Este

análisis facilita la priorización de las inversiones de mayor impacto sobre la seguridad, la productividad, el desempeño ambiental y la sostenibilidad económica de la operación.

9.1.2 Costos operacionales (OPEX)

Los costos operacionales (OPEX) corresponden a los gastos recurrentes necesarios para garantizar el funcionamiento continuo de una operación minera durante su vida útil. A diferencia de las inversiones de capital (CAPEX), estos costos se generan de manera permanente y están asociados directamente con la producción y el sostenimiento de la operación.



En la pequeña minería de oro, el OPEX comprende, entre otros, los costos de mano de obra, prestaciones sociales, combustible, energía eléctrica, explosivos, sostenimiento minero, mantenimiento de maquinaria y equipos, transporte interno, gestión ambiental, seguridad y salud en el trabajo, gestión social y demás actividades requeridas para el desarrollo de la explotación.

La estimación del OPEX constituye un insumo esencial para la elaboración de presupuestos, la

proyección del costo de producción, la construcción del flujo de caja y la evaluación de la rentabilidad del proyecto. Para ello, las proyecciones deben incorporar los costos asociados al cumplimiento de las obligaciones ambientales, sociales y de seguridad, así como las provisiones destinadas al cierre y poscierre de la mina.

La **Figura 9-2** presenta los principales componentes del OPEX en una operación de pequeña minería de oro.

Figura 9-2

Costos y gastos más comunes en minería de oro



El seguimiento periódico de los costos operacionales permite comparar los valores presupuestados con los costos efectivamente ejecutados mediante indicadores de desempeño, como el costo por tonelada producida, el consumo de combustible y energía, la productividad de la mano de obra, la disponibilidad de equipos y los costos de mantenimiento. Este análisis facilita la identificación de desviaciones, la implementación de acciones de mejora y el fortalecimiento de la eficiencia operativa.

La evaluación conjunta del CAPEX y el OPEX proporciona una visión integral de las necesidades de inversión y de los recursos requeridos durante el ciclo de vida del proyecto minero. En este contexto, la Figura 9-3 compara las principales características de ambos conceptos y su aplicación en la planificación financiera de la operación.

Adicionalmente, los costos operacionales pueden clasificarse en costos fijos, variables y mixtos, clasificación que facilita el análisis financiero, el control presupuestal y la toma de decisiones relacionadas con la producción y la sostenibilidad económica del proyecto.

Figura 9-3
Capex Vs 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

Una operación de minería de oro puede contar con maquinaria adecuada y una inversión inicial bien planificada; sin embargo, si no controla gastos como el combustible, la mano de obra o el mantenimiento, su rentabilidad puede verse afectada. De igual manera, reducir los costos de operación no siempre compensa inversiones que superen la capacidad económica de la mina o que no generen los beneficios esperados. Comprender la diferencia entre CAPEX y OPEX ayuda a elaborar presupuestos más realistas, evaluar alternativas como comprar o alquilar maquinaria y planificar los recursos necesarios para el funcionamiento de la operación. Además, dentro del OPEX es importante diferenciar los costos fijos, variables y mixtos, ya que esta clasificación facilita el control de los gastos y apoya la toma de decisiones durante la operación minera.

9.1.3 Costos fijos

Los costos fijos corresponden a aquellos gastos que permanecen relativamente constantes durante un período determinado, independientemente del nivel de producción de la operación minera. Aunque su valor total no varía significativamente en el corto plazo, estos costos inciden sobre el costo unitario de producción, ya que una disminución en la producción incrementa el costo por unidad de mineral o por gramo de oro obtenido.

En la pequeña minería de oro, los costos fijos incluyen, entre otros, los salarios del personal administrativo y de supervisión, los arrendamientos de infraestructura o terrenos, los seguros, las licencias, algunos contratos de servicios y determinadas actividades de mantenimiento programado.

La identificación de los costos fijos facilita la elaboración de presupuestos, el análisis del punto de equilibrio y la evaluación de la sostenibilidad financiera de la operación.

9.1.4 Costos variables

Los costos variables corresponden a aquellos gastos cuyo valor depende directamente del nivel de producción. En consecuencia, aumentan o disminuyen en función del volumen de mineral explotado, procesado o beneficiado.

Entre los principales costos variables de una operación de pequeña minería de oro se encuentran el consumo de combustible, energía eléctrica utilizada en los procesos productivos, explosivos, insumos para beneficio del mineral, transporte de material, arrendamiento de equipos por horas y la mano de obra directamente asociada con la producción.

La adecuada estimación y seguimiento de estos costos permite mejorar el control operativo, optimizar el costo de producción y fortalecer la rentabilidad del proyecto



9.1.5 Costos mixtos

Los costos mixtos son aquellos que incorporan un componente fijo y otro variable dentro de un mismo concepto de gasto. En consecuencia, presentan un valor mínimo que se mantiene independientemente del nivel de producción y un componente adicional que varía de acuerdo con la utilización de los recursos o el volumen de producción.

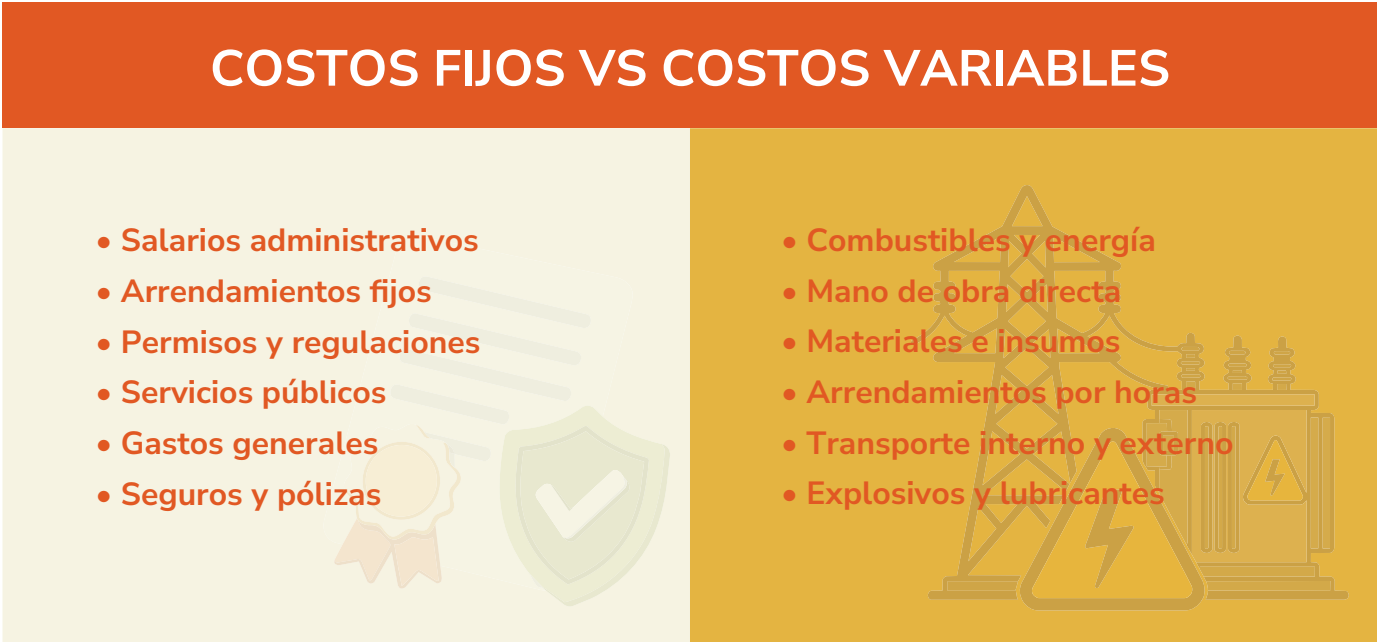
En la pequeña minería de oro, ejemplos de costos mixtos incluyen el consumo de energía eléctrica, que combina un cargo fijo por disponibilidad del servicio con un cobro asociado al consumo; el mantenimiento de maquinaria y equipos, que comprende actividades preventivas programadas y reparaciones derivadas del uso; y algunos esquemas de remuneración que integran un salario base con incentivos asociados a la producción.

La identificación de los costos mixtos mejora la precisión de las proyecciones financieras y facilita la elaboración de presupuestos, el análisis de escenarios y la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

La **Figura 9-4** presenta un esquema comparativo de los costos fijos, variables y mixtos, resaltando sus principales características y su comportamiento frente a los cambios en el nivel de producción.

La correcta clasificación de los costos fijos, variables y mixtos permite conocer con mayor precisión cuánto cuesta producir y cómo cambian los gastos según el nivel de producción. Esta información facilita la elaboración de presupuestos, la evaluación de diferentes escenarios de operación y la planificación de los recursos necesarios para desarrollar la actividad minera. Mantener actualizada esta clasificación ayuda a identificar cambios en la estructura de costos, mejorar el control de los gastos y respaldar la toma de decisiones durante la operación.

Figura 9-4
Costos Fijos vs Costos Variables



9.1.6 Diferencias y semejanzas entre el costo directo e indirecto

Los costos directos e indirectos hacen parte del OPEX y permiten conocer con mayor precisión cuánto cuesta producir el material. Los costos directos son aquellos que se relacionan directamente con la extracción y el procesamiento del mineral, mientras que los costos indirectos corresponden a actividades de apoyo, como la administración, la gestión ambiental, la seguridad y otros procesos necesarios para el funcionamiento de la operación.

Diferenciar estos costos facilita el cálculo del costo de producción, la elaboración de presupuestos y la estimación de los recursos necesarios para desarrollar la actividad minera. Además, mantener una clasificación clara y actualizada ayuda a controlar los gastos y respaldar la toma de decisiones. **La Tabla 91** presenta un resumen comparativo de los principales tipos de costos en minería de oro, 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 oro	Impacto principal
Costo directo	Se asocia directamente a la producción	Extracción, procesamiento, energía en planta, reactivos	Afecta el margen bruto
Costo indirecto	Apoya la operación, no se asigna a una unidad específica	Administración, seguridad, gestión ambiental	Afecta el margen operativo
Costo fijo	No varía con el nivel de producción en el corto plazo	Licencias, salarios administrativos	Aumenta el costo unitario si baja la producción
Costo variable	Varía según el volumen producido	Combustible, explosivos, reactivos	Escala con la producción
Costo mixto	Tiene parte fija y parte variable	Energía, mantenimiento, mano de obra semivariable	Requiere análisis detallado para proyecciones

En la pequeña minería de oro, los costos y la rentabilidad suelen analizarse en función de los gramos de oro producidos, ya que esta unidad de medida permite evaluar con mayor precisión el desempeño económico de la operación. Indicadores como el costo unitario por gramo de oro, el costo total de producción y los márgenes de rentabilidad constituyen herramientas fundamentales para analizar la eficiencia operativa, identificar oportunidades de mejora y apoyar la toma de decisiones. Este enfoque resulta especialmente útil en operaciones de pequeña escala, donde variaciones relativamente pequeñas en los costos de producción pueden generar efectos significativos sobre la rentabilidad del proyecto.

9.1.7 Recomendaciones para la identificación de costos

La adecuada identificación y clasificación de los costos constituye la base para la elaboración de presupuestos, la evaluación financiera y la estimación de la rentabilidad de una operación minera. Además de conocer el precio de venta del oro, es necesario estimar con precisión los costos de producción, los requerimientos de inversión y los recursos financieros necesarios para garantizar la continuidad de la operación durante su vida útil.

Como parte del proceso de planeamiento financiero, es recomendable establecer mecanismos de seguimiento y control que permitan comparar periódicamente los costos presupuestados con los costos ejecutados, identificar desviaciones y adoptar oportunamente las medidas de ajuste requeridas.

La **Figura 9-5** presenta un conjunto de recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión de los costos durante las diferentes etapas del proyecto minero.

Figura 9-5

Recomendaciones de gestión de costos directos e indirectos

COSTOS FIJOS VS COSTOS VARIABLES



- Diferenciar claramente entre inversión y gasto.
- Identificar costos directamente ligados a producción (Explotación, beneficio, materiales, equipos, combustibles, etc.).
- No ignorar costos indirectos necesarios para operar (Administración, permisos, contabilidad, seguridad, etc.).
- Mantener una clasificación constante y coherente, sin Mover costos de una categoría a otra sin razón clara.
- No dejar de lado los costos ambientales, de seguridad y Permisos.

Una vez definidos los principales componentes de los costos, el siguiente paso consiste en establecer mecanismos que permitan controlar los recursos financieros de la operación y evaluar permanentemente su desempeño económico.

9.2 Control de Gastos y Recursos

El control de gastos y recursos constituye una herramienta esencial para verificar el cumplimiento de la planificación financiera y evaluar el desempeño económico de una operación minera. Su aplicación permite identificar oportunamente desviaciones frente a los presupuestos, estimar su impacto sobre la rentabilidad y definir las acciones correctivas necesarias para garantizar la sostenibilidad del proyecto.

Para ello, resulta fundamental realizar un seguimiento periódico a los estados financieros y a indicadores como los márgenes de rentabilidad, el flujo de caja, la liquidez y el capital de trabajo, los cuales proporcionan información objetiva para respaldar la toma de decisiones durante las diferentes etapas del ciclo de vida de la mina.

9.2.1 Estados financieros

Los estados financieros constituyen la principal fuente de información para evaluar la situación económica y financiera de una operación minera. Su análisis permite determinar la capacidad de la empresa para generar utilidades, atender sus obligaciones, financiar sus actividades y mantener la continuidad de la operación.

La información contenida en estos estados facilita el seguimiento de los ingresos, costos, gastos, activos, pasivos y flujos de efectivo, permitiendo comparar los resultados obtenidos con los presupuestos y metas establecidas durante el planeamiento financiero.

A continuación, se describen los principales estados financieros utilizados para evaluar el desempeño económico de una operación de pequeña minería de oro.





9.2.1.1 Estado de Situación Financiera (o Balance)

El Estado de Situación Financiera presenta la situación económica de la operación en una fecha determinada mediante la relación entre sus activos, pasivos y patrimonio.

Los activos representan los bienes, derechos y recursos controlados por la empresa; los pasivos corresponden a las obligaciones financieras y compromisos adquiridos con terceros; y el patrimonio refleja la participación de los propietarios, determinada por la diferencia entre los activos y los pasivos.

El análisis periódico de este estado financiero permite evaluar la liquidez, el nivel de endeudamiento, la capacidad de inversión y la solidez financiera de la operación, proporcionando información clave para la planificación de nuevas inversiones y la gestión eficiente de los recursos.

La **Figura 9-6** presenta un ejemplo de la estructura de un Estado de Situación Financiera.

Figura 9-6
Ejemplo de Balance General

ESTADO DE SITUACIÓN FINANCIERAAl 31 de diciembre de 2023 y 2024							
(Cifras en miles de pesos colombianos – COP)							
ACTIVO	NOTA						
Activo corriente					PASIVO		
Concepto	Nota	2023	2024		Pasivo corriente		
Efectivo y equivalentes al efectivo	6	4.250.000	3.980.000		Cuentas por pagar comerciales	15	1.380.000
Otros activos financieros	6	1.920.000	1.280.000		Otras cuentas por pagar	16	640.000
Cuentas por cobrar comerciales	7	890.000	760.000		Otros pasivos financieros	17	820.000
Otras cuentas por cobrar	8	340.000	495.000		Pasivos por arrendamientos	18	310.000
Inventarios (mineral, insumos, repuestos)	9	1.130.000	1.050.000		Beneficios a los empleados	19	265.000
Gastos pagados por anticipado	10	185.000	100.000		Provisión ambiental (corriente)	20	180.000
Total activo corriente		8.915.000	7.725.000		Total pasivo corriente		3.595.000
Activo no corriente					Pasivo no corriente		
Otras cuentas por cobrar	8	210.000	190.000		Otras cuentas por pagar LP	16	90.000
Inversiones en asociadas	11	480.000	450.000		Otros pasivos financieros LP	17	1.950.000
Gastos pagados por anticipado LP	10	120.000	135.000		Pasivos por arrendamientos LP	18	540.000
Propiedades, planta y equipo (minería)	12	6.550.000	6.420.000		Provisión ambiental LP	20	1.120.000
Activos por derecho de uso	13	420.000	460.000		Pasivo por impuestos diferidos	22	420.000
Activos intangibles (licencias, software)	14	780.000	720.000		Total pasivo no corriente		4.120.000
Total activo no corriente		8.960.000	8.375.000		Total Pasivo		7.715.000
TOTAL ACTIVO		17.875.000	16.100.000		PATRIMONIO		
					Capital emitido	23	3.000.000
					Otras reservas de capital	24	1.050.000
					Resultados acumulados	25	2.610.000
					Total patrimonio		6.660.000
					TOTAL PASIVO+PATRIMONIO		14.375.000

El seguimiento histórico del balance facilita analizar la evolución de los activos, pasivos y patrimonio, identificar tendencias financieras y evaluar el crecimiento de la operación a lo largo del tiempo.

9.2.1.2 Estado de Resultados (P&L)

El Estado de Resultados presenta el desempeño económico de la operación durante un período determinado mediante la comparación entre los ingresos obtenidos y los costos y gastos incurridos para generar dichos ingresos.

Este estado financiero permite determinar indicadores como la utilidad bruta, el EBITDA, el EBIT y la utilidad neta, proporcionando información para evaluar la rentabilidad, la eficiencia operativa y la capacidad de generación de utilidades del proyecto.

Su análisis periódico facilita identificar variaciones en los ingresos, los costos de producción, los gastos operacionales y los costos financieros, apoyando la formulación de estrategias para mejorar el desempeño económico de la operación.

La **Figura 9-7** presenta un ejemplo de la estructura general de un Estado de Resultados.

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



El análisis del Estado de Resultados adquiere mayor valor cuando se complementa con indicadores operacionales, como la producción de mineral, la recuperación metalúrgica, el costo por gramo de oro producido y la productividad de los equipos, permitiendo relacionar el desempeño financiero con los resultados técnicos de la operación.

La **Figura 9-8** presenta algunas recomendaciones para el análisis e interpretación del Estado de Resultados.

Figura 9-8
Recomendaciones para el análisis del Estado de Resultados (P&L)



Una vez comprendida la estructura del Estado de Resultados, es necesario analizar los principales componentes e indicadores financieros que permiten evaluar el desempeño económico de una operación de pequeña minería de oro.

Su análisis periódico facilita comparar los resultados obtenidos con las metas de producción y ventas, identificar variaciones en los ingresos, los costos y los gastos, y realizar los ajustes necesarios para mejorar el desempeño de la operación. A continuación, se presentan las principales cuentas e indicadores que conviene monitorear para apoyar el control financiero y la toma de decisiones durante la ejecución del plan de minado.

9.2.2 Ingresos

Los ingresos corresponden a los recursos obtenidos por la comercialización del oro producido y constituyen la principal fuente de generación de valor del proyecto minero. Su comportamiento depende, entre otros factores, del volumen de producción, la recuperación metalúrgica, la ley del mineral, el precio del oro y las condiciones de comercialización.

La estimación de los ingresos debe realizarse considerando diferentes escenarios de producción y comportamiento del mercado, con el fin de evaluar su efecto sobre la rentabilidad, el flujo de caja y la viabilidad económica del proyecto.



9.2.3 Costos

Los costos representan los recursos requeridos para desarrollar las actividades de extracción, beneficio, transporte y comercialización del mineral. Su análisis permite determinar el costo de producción, elaborar presupuestos, evaluar la eficiencia operativa y estimar el impacto de las variaciones en los gastos sobre la rentabilidad del proyecto.

El seguimiento periódico de la estructura de costos facilita la comparación entre los valores presupuestados y los costos ejecutados, apoyando la implementación de medidas orientadas al control del gasto y a la optimización de los recursos.

9.2.4 EBITDA

El **EBITDA** (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization) representa la utilidad generada por la operación antes de considerar los efectos de la estructura financiera, la carga tributaria y los cargos contables asociados a la depreciación y la amortización.

Este indicador permite evaluar la capacidad de la operación para generar recursos a partir de su actividad principal, facilitando la comparación del desempeño entre diferentes periodos y escenarios de producción.

9.2.5 EBIT o utilidad operativa

El **EBIT** (Earnings Before Interest and Taxes) corresponde a la utilidad operacional obtenida después de reconocer la depreciación y la amortización de los activos, pero antes de descontar los intereses y los impuestos.

Su análisis proporciona una visión más completa del desempeño operativo del proyecto al incorporar el desgaste económico de la infraestructura, la maquinaria y los equipos utilizados durante la explotación.

9.2.6 Utilidad neta

La utilidad neta corresponde al resultado final obtenido por la operación una vez descontados todos los costos, gastos operacionales, depreciaciones, amortizaciones, intereses e impuestos.

Este indicador refleja la rentabilidad efectiva del proyecto y constituye un referente para evaluar su capacidad de crecimiento, reinversión y sostenibilidad financiera.

De manera simplificada, la utilidad neta puede representarse mediante la siguiente expresión:

Ingresos – Costos – Gastos – Impuestos = Utilidad neta

En términos tributarios, el Estado de Resultados constituye uno de los principales soportes para la determinación de las obligaciones fiscales. Por ello, la correcta estimación de los ingresos, costos y gastos resulta fundamental para garantizar el adecuado cumplimiento de la normativa tributaria vigente.

9.2.7 Márgenes financieros

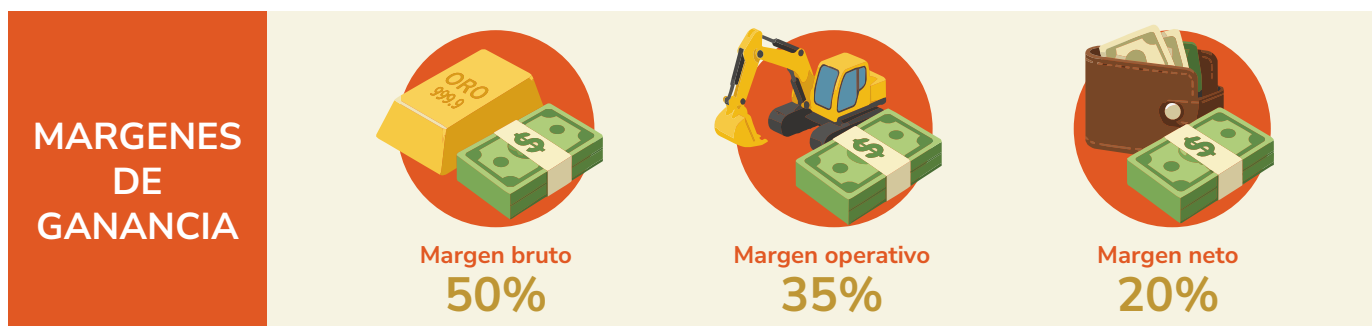
Los márgenes financieros permiten evaluar qué proporción de los ingresos generados por la venta del oro se transforma en utilidad después de incorporar progresivamente los costos y gastos de la operación.

El análisis conjunto del margen bruto, el margen operativo y el margen neto facilita evaluar la eficiencia económica del proyecto, identificar oportunidades de mejora y realizar comparaciones entre diferentes periodos de operación o escenarios de producción.

La Figura 9-9 ilustra el comportamiento de los principales márgenes financieros y la forma en que disminuyen a medida que se incorporan los diferentes costos, gastos y obligaciones financieras de la operación.

Figura 9-9

Principales márgenes financieros



9.2.7.1 Margen bruto

El margen bruto mide la rentabilidad generada por la actividad productiva al relacionar los ingresos obtenidos por la venta del oro con los costos directos de producción. Este indicador refleja la eficiencia del proceso extractivo y constituye una referencia para evaluar la capacidad del proyecto de generar recursos antes de considerar los gastos administrativos, financieros y tributarios.

Durante el planeamiento financiero, el margen bruto facilita la comparación de diferentes escenarios de producción, el análisis del comportamiento de los costos directos y la evaluación de alternativas para mejorar la eficiencia operativa.

Margen bruto = (Ingresos por ventas – Costos directos de producción) / Ingresos por ventas

La evolución de este indicador permite analizar el efecto conjunto de las variaciones en el precio del oro y en los costos de producción, proporcionando información para evaluar la competitividad y la resiliencia económica de la operación frente a cambios en las condiciones del mercado.

9.2.7.2 Margen operativo

El margen operativo representa la rentabilidad obtenida después de incorporar los costos directos de producción y los gastos requeridos para el funcionamiento de la operación minera.

Este indicador permite evaluar la eficiencia económica de la operación considerando, además de la producción, los gastos administrativos, la gestión ambiental, la seguridad y salud en el trabajo, el mantenimiento, el cumplimiento normativo y la depreciación de los activos utilizados en el proceso productivo.

Margen operativo = EBIT / Ingresos por ventas

El seguimiento del margen operativo permite identificar el efecto de los costos indirectos sobre la rentabilidad y evaluar la sostenibilidad económica de la operación bajo diferentes escenarios técnicos, regulatorios y financieros.

9.2.7.3 Margen neto

El margen neto representa la rentabilidad final del proyecto después de incorporar la totalidad de los costos, gastos, depreciaciones, amortizaciones, intereses, regalías e impuestos.

Este indicador proporciona una visión integral del desempeño financiero de la operación y permite evaluar su capacidad para generar utilidades, financiar nuevas inversiones y mantener su sostenibilidad económica durante el ciclo de vida del proyecto.

Margen neto = Utilidad neta / Ingresos por ventas



En proyectos de pequeña minería de oro, el margen neto refleja el efecto combinado de las condiciones del mercado, la eficiencia operativa, la estructura de financiamiento y las obligaciones tributarias y regulatorias, constituyéndose en uno de los principales indicadores para evaluar la viabilidad financiera del proyecto.

En conjunto, el margen bruto, el margen operativo y el margen neto presentan un comportamiento progresivamente decreciente, al incorporar sucesivamente nuevos componentes de costos y obligaciones financieras. Su análisis integrado proporciona una visión completa del desempeño económico de la operación y constituye una herramienta de apoyo para el planeamiento financiero y la toma de decisiones.

9.2.8 Capital de trabajo y Capital de Trabajo Neto Operativo (KTNO)

El capital de trabajo corresponde a los recursos financieros necesarios para garantizar la continuidad de las operaciones y atender las obligaciones de corto plazo durante el desarrollo del proyecto minero.

Dentro de la evaluación financiera, el Capital de Trabajo Neto Operativo (KTNO) representa los recursos vinculados directamente con la operación, calculados a partir de los activos corrientes operativos —como efectivo, cuentas por cobrar e inventarios— menos los pasivos corrientes asociados a la actividad productiva.

La estimación del capital de trabajo durante el planeamiento financiero permite determinar los recursos requeridos para iniciar la operación, mantener la liquidez necesaria para su funcionamiento y responder oportunamente a las necesidades operativas derivadas del proceso productivo.

En la evaluación económica de proyectos mineros, el KTNO se considera una inversión inicial indispensable para la puesta en marcha de la operación y, bajo condiciones normales, se recupera al finalizar la vida útil del proyecto.

La Figura 9-10 presenta la estructura conceptual del capital de trabajo y su importancia dentro de la planificación financiera de proyectos de pequeña minería de oro.

Figura 9-10
Capital de trabajo





El capital de trabajo está directamente relacionado con el ciclo operativo de la empresa, es decir, el tiempo que transcurre entre el pago a proveedores y el cobro a clientes. Una gestión eficiente de este ciclo permite reducir la necesidad de capital de trabajo, mejorar la liquidez y disminuir la dependencia de financiamiento externo.

En la evaluación financiera de proyectos, el capital de trabajo representa una inversión adicional que debe considerarse al inicio de la operación y que, en muchos casos, se recupera al final de la vida útil del proyecto. Una subestimación de este componente puede llevar a errores en el cálculo del flujo de caja, el valor presente neto y otros indicadores de rentabilidad. Como se muestra a continuación en la **Figura 9-11** es clave tener unas cuentas por cobrar bajas y unos inventarios al mínimo, para que el KTNO sea óptimo.

Figura 9-11
KTNO

$$KTNO = (Cuentas\ por\ Cobrar + Inventarios) - Cuentas\ por\ Pagar$$

La incorporación del capital de trabajo dentro de la planificación financiera permite estimar con mayor precisión las necesidades de liquidez de la operación y evaluar el efecto que pueden generar las variaciones en los precios del oro, los volúmenes de producción y los tiempos de recuperación de cartera sobre el flujo de caja. Un adecuado dimensionamiento del KTNO favorece la continuidad de la operación, disminuye la presión sobre las fuentes de financiación de corto plazo y fortalece la capacidad del proyecto para responder a cambios en las condiciones del mercado.

9.2.9 Flujo de Caja

El flujo de caja representa el movimiento real de los recursos financieros que ingresan y salen de una operación minera durante un período determinado y constituye uno de los principales instrumentos para evaluar la liquidez del proyecto.

A diferencia de la utilidad contable, que refleja el resultado económico de la operación bajo principios contables, el flujo de caja muestra la disponibilidad efectiva de efectivo para atender las obligaciones operativas, financieras y tributarias. En consecuencia, una operación puede registrar utilidades positivas y, simultáneamente, enfrentar restricciones de liquidez derivadas de inversiones en activos, incrementos del capital de trabajo o compromisos financieros de corto plazo.

El análisis del flujo de caja resulta fundamental durante el planeamiento financiero, ya que permite evaluar la capacidad del proyecto para financiar sus operaciones, ejecutar nuevas inversiones, atender obligaciones con acreedores e inversionistas y responder a escenarios de incertidumbre asociados con la volatilidad del precio del oro o con variaciones en los costos de producción.

Dentro de este análisis, el **Flujo de Caja Libre (FCL)** constituye uno de los principales indicadores para la evaluación financiera de proyectos mineros, al representar los recursos disponibles una vez descontadas las inversiones necesarias para mantener y desarrollar la operación, así como las variaciones del capital de trabajo. Este indicador sirve como base para la estimación del Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y otros criterios utilizados en la evaluación económica de proyectos de inversión.

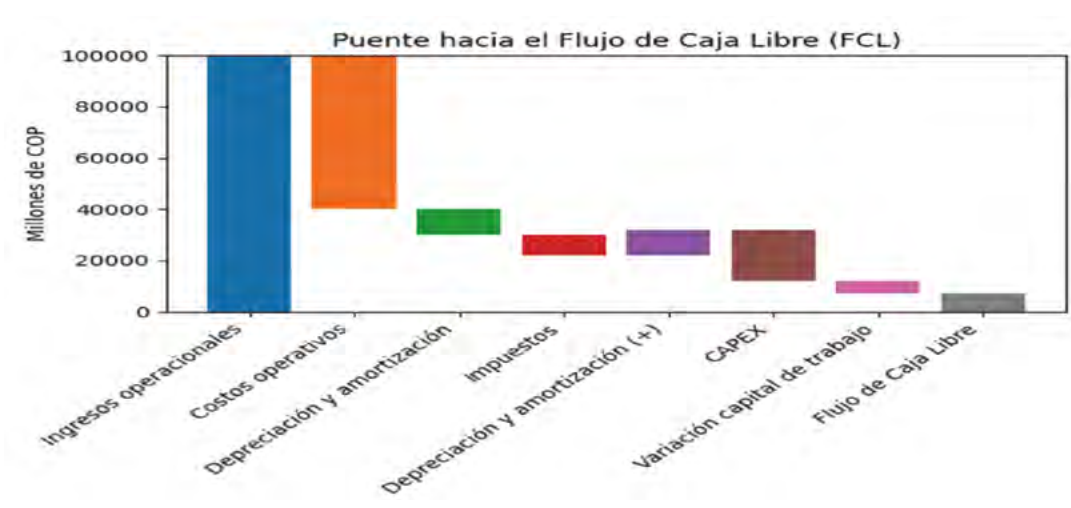
La **Tabla 9-2** presenta la estructura general para la estimación del Flujo de Caja Libre, ilustrando la relación entre los ingresos operacionales, los costos y gastos, el EBITDA, las inversiones en CAPEX, las variaciones del Capital de Trabajo Neto Operativo (KTNO) y el efectivo disponible para los inversionistas y acreedores.

Tabla 9-2
Flujo de caja libre

Concepto	Descripción
Ingresos operacionales	Ventas del proyecto (por ejemplo, venta de oro)
(-) 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

La **Figura 9-12** nos muestra una gráfica tipo cascada, donde se presenta un escenario óptimo de flujo de caja para una operación de minería de oro. 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



9.2.9.1 Recomendaciones para el control de gastos y recursos

El control de gastos y la gestión eficiente de los recursos constituyen elementos fundamentales para garantizar la sostenibilidad financiera de una operación de pequeña minería de oro. El seguimiento permanente de los costos de producción, los gastos administrativos y el consumo de insumos permite identificar desviaciones frente a lo planificado, optimizar el uso de los recursos y fortalecer la rentabilidad del proyecto.

208

La **Figura 9-13** presenta un conjunto de recomendaciones orientadas a mejorar el control de los gastos y la administración de los recursos durante las diferentes etapas de la operación minera.

Figura 9-13

Recomendaciones para el control de gastos en minería de oro

RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE GASTOS EN MINERÍA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



REGISTRAR PRODUCCIÓN Y GASTOS

Mantener un registro constante de la producción y los principales costos como combustible, nómina y mantenimiento permite calcular el costo real por gramo.

SEPARAR FINANZAS DEL NEGOCIO

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 GRAMO

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 el mantenimiento para reducir paradas costosas y evitar aumentar el costo por gramo.

VALORAR ESCENARIOS Y PREVER COSTOS

Evaluar el impacto de precios bajos o mayores costos del oro para adaptarse a cambios en el mercado.

MANTENER CAPITAL DE TRABAJO EN EL CICLO

En minería de oro, el control de gastos permite conocer mejor la situación financiera, reducir riesgos y tomar decisiones informadas.



El control financiero debe complementarse con la elaboración de proyecciones operativas que integren la producción esperada, los costos de extracción y beneficio, los precios del oro, los requerimientos de inversión y las condiciones logísticas de la operación. Estas proyecciones permiten evaluar diferentes escenarios, anticipar variaciones en el desempeño económico y ajustar oportunamente las estrategias de producción y los presupuestos, fortaleciendo la capacidad de respuesta frente a cambios en las condiciones técnicas o del mercado.

9.3 Proyección financiera del plan de minado

Las proyecciones financieras constituyen una herramienta fundamental del planeamiento minero, ya que permiten estimar el comportamiento económico de un proyecto de minería de oro a partir de la información técnica, operativa y financiera disponible. Para su elaboración se integran datos históricos de la operación, como los ingresos por ventas, los costos de extracción y procesamiento, los gastos operativos y las inversiones requeridas, junto con los objetivos de producción y las condiciones previstas para el desarrollo del proyecto.

La proyección financiera incorpora variables macroeconómicas y sectoriales que pueden incidir en el desempeño del proyecto, entre ellas la inflación, las tasas de interés, la tasa de cambio, el crecimiento económico y el comportamiento de los mercados. Asimismo, considera factores propios de la minería de oro, como la evolución de los precios del mineral, los volúmenes de producción proyectados, la vida útil de la mina, la eficiencia operativa y las exigencias regulatorias y ambientales.

La integración de estas variables permite construir diferentes escenarios financieros para evaluar el efecto que pueden generar las variaciones en los precios, los costos, la producción o las condiciones del mercado sobre la rentabilidad del proyecto. Este análisis facilita la identificación de riesgos y

oportunidades, fortalece la planificación de los recursos y proporciona criterios para la toma de decisiones durante las diferentes etapas del plan de minado.

Dentro de este proceso también deben incorporarse las inversiones ambientales, los costos asociados al cierre de mina, las actividades de restauración ambiental y las demás obligaciones económicas previstas durante el ciclo de vida del proyecto, de manera que la evaluación financiera refleje de forma integral los recursos requeridos para el desarrollo de la operación.

A continuación, se presenta un ejemplo simplificado de proyección financiera para una operación de pequeña minería de oro, con el propósito de ilustrar la secuencia utilizada para estimar los ingresos, los costos, los principales indicadores financieros y la utilidad del proyecto.

9.3.1 Proyección de ventas mensual

La proyección de ventas se fundamenta en la estimación del volumen de producción recuperado y el precio esperado del oro. Para este ejemplo se consideran los siguientes supuestos:

- Extracción de mineral: **1.000 toneladas/mes**
- Ley promedio: **5 g/ton**
- Recuperación metalúrgica: **85 %**
- Precio del oro: **USD 3.000/onza**
- Precio equivalente: **USD 96,5/g**
- Tasa de cambio: **COP 3.800/USD**
- Precio del oro: **COP 366.700/g**

Con estos parámetros, la producción mensual estimada corresponde a:

- Oro recuperado:
 $1.000 \text{ t} \times 5 \text{ g/t} \times 0,85 = 4.250 \text{ g}$
- Producción equivalente:
 $4.250 \text{ g} \div 31,1035 = 136,6 \text{ onzas}$



En consecuencia, las ventas mensuales estimadas serían:

$$4.250 \text{ g} \times \text{COP } 366.700/\text{g} = \text{COP } 1.558.475.000$$

Proyección de costos operativos (OPEX)

Los costos operativos se estiman a partir del costo unitario de producción por gramo de oro recuperado. En este ejemplo se incluyen los costos asociados al personal, perforación y voladura, transporte, combustibles, energía, reactivos, mantenimiento y demás recursos necesarios para el desarrollo de la operación.

- Costo operativo unitario: **COP 240.000/g**
- Producción mensual: **4.250 g**

Costo operativo mensual:

$$4.250 \text{ g} \times \text{COP } 240.000/\text{g} = \text{COP } 1.020.000.000$$

EBITDA

El EBITDA representa la utilidad generada por la operación antes de considerar intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones.

$$\text{EBITDA} = \text{Ingresos} - \text{Costos operativos}$$

$$\text{EBITDA} = \text{COP } 1.558.475.000 - \text{COP } 1.020.000.000$$

$$\text{EBITDA} = \text{COP } 538.475.000$$

$$\text{Utilidad operativa (EBIT)}$$

A continuación, se incorpora el efecto de la depreciación de los activos asociados a las inversiones de capital (CAPEX). La depreciación representa el reconocimiento contable del desgaste de la maquinaria, los equipos y la infraestructura utilizados durante la operación.

- Depreciación: **COP 200.000.000**

$$\text{EBIT} = \text{EBITDA} - \text{Depreciación}$$

$$\text{EBIT} = \text{COP } 538.475.000 - \text{COP } 200.000.000$$

$$\text{EBIT} = \text{COP } 338.475.000$$

Utilidad antes de impuestos (UAI)

Posteriormente se descuentan los gastos financieros asociados al financiamiento del proyecto para obtener la utilidad antes de impuestos.

- Intereses: **COP 18.475.000**

$$\text{UAI} = \text{EBIT} - \text{Intereses}$$

$$\text{UAI} = \text{COP } 338.475.000 - \text{COP } 18.475.000$$

$$\text{UAI} = \text{COP } 320.000.000$$

Utilidad neta (UN)

Finalmente, se incorpora el impuesto sobre la renta para determinar la utilidad neta del período.

- Impuesto sobre la renta: **35 %**

Impuesto:

$$\text{COP } 320.000.000 \times 35 \% = \text{COP } 112.000.000$$

$$\text{Utilidad neta} = \text{UAI} - \text{Impuesto}$$

$$\text{Utilidad neta} = \text{COP } 320.000.000 - \text{COP } 112.000.000$$

$$\text{Utilidad neta} = \text{COP } 208.000.000$$

La **Tabla 9-3** presenta un ejemplo simplificado de la proyección financiera mensual y anual de una operación de pequeña minería de oro. En ella se integran los ingresos operacionales, los costos de operación (OPEX), la depreciación derivada de las inversiones de capital (CAPEX), los gastos financieros, el impuesto sobre la renta y la utilidad neta, ilustrando la secuencia empleada para evaluar el desempeño económico del proyecto.

Tabla 9-3

Proyecciones financieras

Concepto	Cálculo Detallado	Valor mensual (COP)	Proyección anual (COP)
Ingresos Operacionales (Ventas de Oro)	$4.250 \times \$366.700$	\$1.558.475.000	\$18.701.700.000
Menos: Costo Operativo (OPEX)	$4.250 \times \$240.000$	\$(1.020.000.000)	\$(12.240.000.000)
= EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization)	$\$1.558.475.000 - \$1.020.000.000$	\$538.475.000	\$6.461.700.000\$
Menos: Depreciación (CAPEX vía gasto)		\$(200.000.000)	\$(2.400.000.000)
= Utilidad Operativa (EBIT) (Earnings Before Interest and Taxes)	$\$538.475.000 - \$200.000.000$	\$338.475.000	\$4.061.700.000
Menos: Gastos Financieros (Intereses)		\$(18.475.000)	\$(221.700.000)
= Utilidad Antes de Impuestos (UAI)	$\$338.475.000 - \$18.475.000$	\$320.000.000	\$3.840.000.000
Menos: Impuesto a la Renta (35%)	$\$320.000.000 \times 0.35$	\$(112.000.000)	\$(1.344.000.000)
= Utilidad Neta (UN)	$\$320.000.000 - \$112.000.000$	\$208.000.000	\$2.496.000.000

Así, a partir de la proyección de los ingresos, los costos, las inversiones y los resultados esperados, es posible evaluar la rentabilidad del proyecto y analizar el efecto que las variables macroeconómicas y sectoriales pueden generar sobre su desempeño financiero. Este análisis proporciona elementos para valorar la viabilidad económica de la operación, planificar la asignación de recursos y respaldar las decisiones relacionadas con el desarrollo del plan de minado.

La elaboración de proyecciones financieras bajo diferentes escenarios permite analizar el impacto de las variaciones en el precio del oro, la tasa de cambio, los costos operativos, los niveles de producción y otros factores que inciden en el comportamiento económico del proyecto. Para ello, es indispensable mantener coherencia entre los supuestos técnicos y financieros, integrando de manera consistente las estimaciones de CAPEX, OPEX, depreciaciones, inversiones ambientales y costos de cierre de mina. De esta forma, las proyecciones financieras se consolidan como una herramienta para evaluar

riesgos, identificar oportunidades y fortalecer la planificación estratégica orientada a la sostenibilidad y rentabilidad de la operación.

9.3.2 Proyecciones financieras y el entorno macroeconómico

Las proyecciones financieras de un proyecto de pequeña minería de oro deben considerar tanto las variables propias de la operación como las condiciones del entorno macroeconómico, debido a que estas pueden influir significativamente sobre los ingresos, los costos, el flujo de caja y la rentabilidad del proyecto.

Entre los principales factores externos se encuentra la inflación, la cual incrementa el costo de insumos esenciales como combustibles, explosivos, reactivos, repuestos, transporte, servicios y mano de obra, afectando directamente el costo unitario de producción. De igual forma, los incrementos



del Salario Mínimo Mensual Legal Vigente (SM-MLV) inciden sobre los costos laborales de una actividad intensiva en recurso humano como la pequeña minería.

La Tasa Representativa del Mercado (TRM) constituye otra variable de especial importancia, ya que el precio internacional del oro se expresa en dólares estadounidenses. En consecuencia, las variaciones de la tasa de cambio afectan tanto los ingresos obtenidos por la comercialización del mineral como el costo de adquisición de maquinaria, equipos, repuestos e insumos importados.

Las tasas de interés también influyen en la evaluación financiera, debido a que determinan el costo del financiamiento requerido para la adquisición de activos, la ejecución de inversiones y la expansión

de la operación minera. Asimismo, el comportamiento del precio internacional del oro constituye una de las variables de mayor incidencia sobre la rentabilidad del proyecto, dada su influencia directa sobre los ingresos esperados.

Aunque el crecimiento económico y la actividad industrial pueden modificar las condiciones generales del mercado y el acceso al financiamiento, en la minería de oro resulta especialmente importante el análisis de variables internacionales relacionadas con la evolución del precio del metal, los mercados financieros y las condiciones económicas globales. La **Figura 9-14** resume la interacción entre las principales variables macroeconómicas y financieras que influyen sobre el desempeño económico de un proyecto de pequeña minería de oro y su incidencia en el planeamiento minero.

Figura 9-14

Proyecciones financieras y entorno macroeconómico



La incorporación de estas variables dentro de las proyecciones financieras permite construir escenarios de análisis que facilitan evaluar la sensibilidad del proyecto frente a cambios en las condiciones económicas, identificar riesgos potenciales y definir estrategias para fortalecer su sostenibilidad financiera. Este enfoque proporciona una base más sólida para la toma de decisiones durante las diferentes etapas del ciclo de vida de la operación minera.

9.4 Priorización de inversiones técnicas

La priorización de inversiones técnicas constituye una etapa fundamental del planeamiento minero, ya que permite asignar los recursos disponibles a las alternativas que generan mayor valor para el proyecto. En las operaciones de pequeña minería de oro, las inversiones en maquinaria, infraestructura, sistemas de cargue y transporte, ventilación, beneficio del mineral o mejoras tecnológicas deben evaluarse de manera integral, considerando tanto su contribución al desempeño técnico como su efecto sobre la productividad, los costos de operación, la seguridad y la rentabilidad del proyecto.

La evaluación de las inversiones requiere estimar los recursos necesarios para su ejecución y analizar los beneficios económicos esperados durante la vida útil del proyecto. Para ello, es indispensable establecer la relación entre la inversión inicial, los incrementos de producción, las reducciones en los costos operativos, las mejoras en la eficiencia y el impacto sobre el flujo de caja, con el propósito de determinar la conveniencia económica de cada alternativa.

Como apoyo a este proceso, se utilizan indicadores de evaluación financiera que permiten comparar diferentes opciones de inversión bajo criterios objetivos. Entre los principales 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), los cuales proporcionan información sobre la rentabilidad, el riesgo, el tiempo de recuperación de la inversión y la capacidad del proyecto para generar valor.

Por ejemplo, una operación de pequeña minería de oro puede evaluar la adquisición de una nueva cargadora o de un equipo de transporte con el propósito de incrementar la capacidad de producción y reducir los tiempos de operación. No obstante, antes de ejecutar la inversión es necesario estimar el costo de adquisición, los incrementos esperados en la producción, la reducción de los costos unitarios, el impacto sobre el flujo de caja y el tiempo requerido para recuperar la inversión. Este análisis permite establecer si los beneficios económicos justifican la inversión propuesta y si su ejecución resulta consistente con la capacidad financiera del proyecto.

La integración del análisis técnico y financiero facilita priorizar aquellas inversiones que generan mayores beneficios económicos y operativos, optimizando la utilización de los recursos disponibles y reduciendo el riesgo de comprometer la estabilidad financiera de la operación. Cuando los recursos son limitados, este proceso permite establecer un orden de prioridad entre las diferentes alternativas de inversión, favoreciendo aquellas que fortalecen la productividad, mejoran la rentabilidad y contribuyen a la sostenibilidad del proyecto minero.

La **Figura 9-15** presenta un ejemplo comparativo de priorización de inversiones técnicas mediante la aplicación de criterios de evaluación financiera, ilustrando la forma en que estos indicadores apoyan la toma de decisiones durante el planeamiento minero.



Figura 9-15
Priorización financiera de inversiones técnicas

EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS EN MINERÍA DE CARBÓN

PROYECTO	INVERSIÓN	VPN	TIR	PAYBACK	DECISIÓN
Ampliación Frente de Explotación	\$500 MM	\$120 MM	18%	3 años	Evaluar
Compra de Equipo de Cargue	\$800 MM	\$90 MM	14%	5 años	Descartar
Mejora en Planta de Beneficio	\$300 MM	\$150 MM	22%	2 años	Priorizar

PRIORIZAR EL PROYECTO MÁS RENTABLE

NOTA: EL CAPEX ES LIMITADO. REALIZAR MÚLTIPLES PROYECTOS SIMULTÁNEOS PUEDE GENERAR DESFASES DE CAJA Y AFECTAR LA LIQUIDEZ DE LA OPERACIÓN.

Los principales indicadores utilizados para la evaluación económica de inversiones, como 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), se desarrollan en los siguientes apartados, donde se presentan sus fundamentos, métodos de cálculo y aplicaciones en proyectos de pequeña minería de oro.

9.4.1 Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es uno de los principales indicadores utilizados para evaluar la conveniencia económica de un proyecto de inversión. Su propósito es determinar si los flujos de caja futuros generados por una inversión son suficientes para recuperar el capital invertido y generar una rentabilidad superior al costo de capital.

Para su cálculo, los flujos de caja esperados durante la vida útil del proyecto se actualizan mediante

una tasa de descuento que refleja el costo de oportunidad de los recursos financieros, ya provengan de capital propio, crédito o inversionistas. Posteriormente, se compara el valor presente de dichos flujos con la inversión inicial requerida.

En proyectos de pequeña minería de oro, el VPN facilita la evaluación de inversiones relacionadas con la adquisición de maquinaria y equipos, el desarrollo de nuevos frentes de explotación, la ampliación de infraestructura, la implementación de mejoras tecnológicas o cualquier otra alternativa orientada a incrementar la productividad, reducir costos o mejorar las condiciones de operación.

Criterios de decisión

- **VPN > 0:** la inversión genera valor y resulta financieramente viable.
- **VPN = 0:** la inversión recupera el capital y obtiene una rentabilidad equivalente al costo de capital.
- **VPN < 0:** la inversión no recupera el costo de oportunidad de los recursos y no genera valor económico.



9.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) representa la rentabilidad esperada de una inversión y corresponde a la tasa de descuento que hace que el Valor Presente Neto sea igual a cero.

Este indicador facilita la comparación entre diferentes alternativas de inversión y permite establecer si la rentabilidad esperada supera la tasa mínima requerida por los inversionistas o el costo de capital del proyecto.

En el planeamiento minero, la TIR constituye una herramienta de apoyo para seleccionar aquellas inversiones que ofrecen una mayor rentabilidad relativa y una utilización más eficiente de los recursos disponibles.

Criterios de decisión

- **TIR > k:** la inversión es financieramente conveniente.
- **TIR = k:** la inversión genera una rentabilidad equivalente al costo de capital.
- **TIR < k:** la inversión no alcanza la rentabilidad mínima esperada y debe reevaluarse.

9.4.3 Período de Recuperación de la Inversión (Payback)

El Período de Recuperación (Payback) estima el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja generados por el proyecto.

Este indicador constituye una medida sencilla del riesgo asociado a una inversión, ya que proyectos con menores tiempos de recuperación presentan una menor exposición a variaciones en el precio del oro, incrementos de costos o cambios en las condiciones del mercado.

Como complemento, el **Payback Descontado** incorpora el valor del dinero en el tiempo mediante

la aplicación de una tasa de descuento sobre los flujos de caja, proporcionando una estimación más realista del período de recuperación.

Aunque el Payback facilita la comparación entre alternativas de inversión, se recomienda utilizarlo juntamente con indicadores como el VPN y la TIR para obtener una evaluación financiera más completa.

9.4.4 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio corresponde al nivel mínimo de producción o ventas requerido para cubrir la totalidad de los costos fijos y variables de la operación, sin generar utilidades ni pérdidas.

Este indicador constituye una herramienta de apoyo para la planificación de la producción, ya que permite establecer el volumen mínimo de oro que debe producirse y comercializarse para garantizar la sostenibilidad económica de la operación.

Su análisis facilita la evaluación del efecto que pueden generar variaciones en el precio del oro, los costos operativos, la productividad o las condiciones del mercado, proporcionando información para ajustar los niveles de producción, optimizar la estructura de costos y reducir el riesgo financiero del proyecto.

La **Figura 9-16** presenta la expresión utilizada para estimar el punto de equilibrio en una operación de pequeña minería de oro.

Figura 9-16

Fórmula del punto de equilibrio

$$\text{Punto de Equilibrio (Unidades)} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\text{Precio de Venta Unitario} - \text{Costo Variable U}}$$

216

Por eso la importancia de tener un costo fijo sano, al igual que un precio siempre mayor que el costo variable (aquel que depende de la producción).

9.4.5 Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC)

El Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC) es un indicador financiero que mide la capacidad de una operación para generar utilidades a partir de los recursos invertidos en el proyecto. Su análisis permite evaluar la eficiencia con la que el capital destinado a maquinaria, infraestructura, equipos y demás activos productivos se transforma en beneficios económicos.

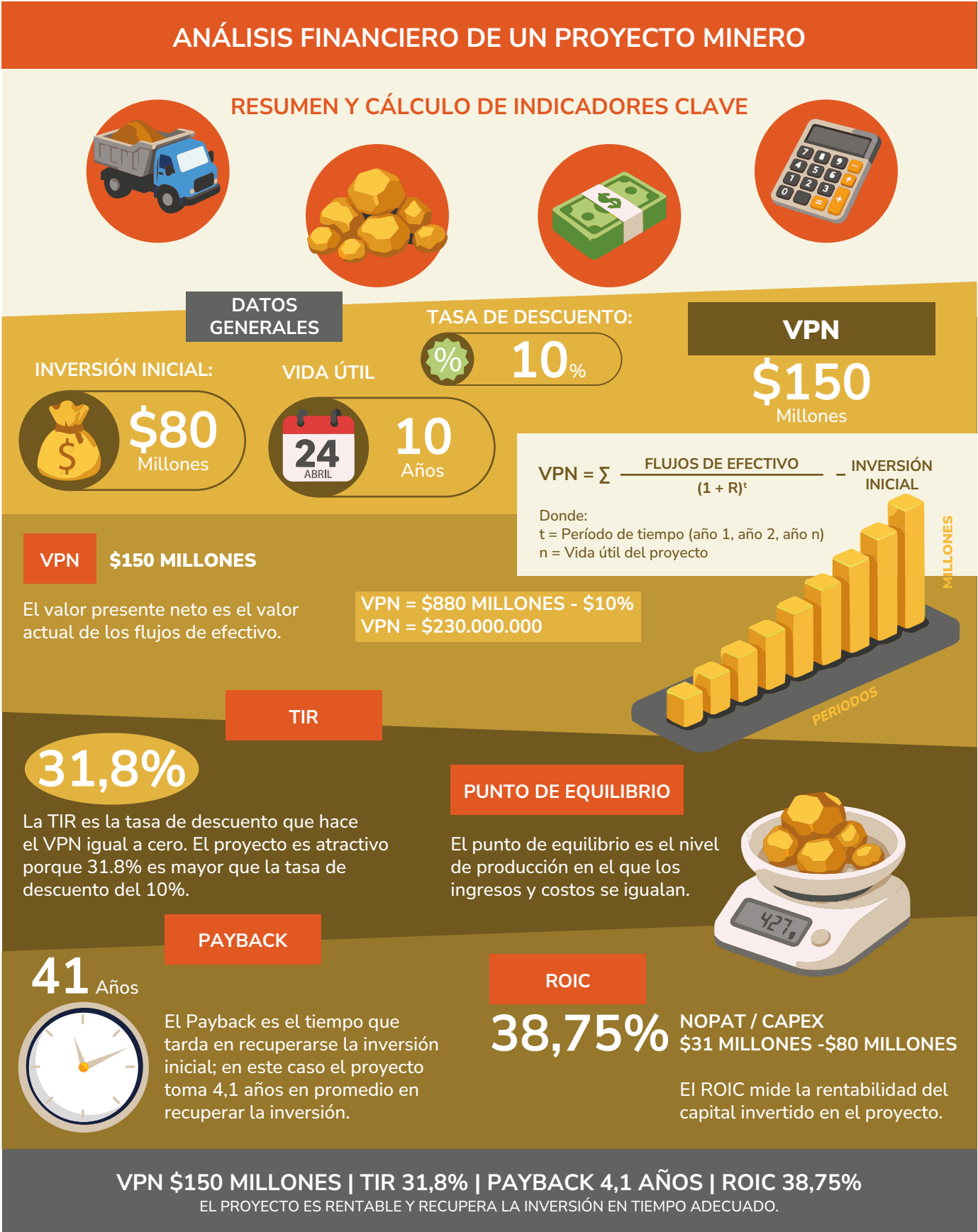
En proyectos de pequeña minería de oro, el ROIC constituye una herramienta de apoyo para evaluar inversiones orientadas a incrementar la capacidad de producción, mejorar la eficiencia operativa o reducir los costos de explotación. La comparación entre el ROIC y el costo de capital permite determinar si las inversiones realizadas generan un rendimiento suficiente para compensar los recursos comprometidos en el proyecto.

El análisis del ROIC adquiere mayor utilidad cuando se interpreta conjuntamente con indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de Recuperación de la Inversión (Payback) y el Punto de Equilibrio, proporcionando una evaluación integral del desempeño financiero y apoyando la priorización de las inversiones dentro del planeamiento minero.

La **Figura 9-17** presenta un ejemplo de evaluación financiera integrada para un proyecto de pequeña minería de oro, incorporando los principales indicadores utilizados en el análisis de inversiones.



Figura 9-17
Análisis financiero de un proyecto minero de pequeña escala





Los resultados del ejemplo muestran un proyecto con indicadores financieros favorables. Con una inversión inicial de **COP 80 millones** y un horizonte de evaluación de **10 años**, se obtiene un Valor Presente Neto (VPN) de **COP 150 millones**, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del **31,8 %**, superior a la tasa de descuento del **10 %**, y un ROIC del **38,75 %**, lo que evidencia una adecuada capacidad del proyecto para generar valor a partir del capital invertido.

Asimismo, el período de recuperación de la inversión (**Payback**) de **4,1 años** indica que el capital inicial se recupera antes de la mitad de la vida útil del proyecto. Por su parte, el punto de equilibrio, estimado en **2.600 gramos** de oro, representa el nivel mínimo de producción requerido para cubrir la totalidad de los costos fijos y variables de la operación. En conjunto, estos indicadores permiten concluir que, bajo los supuestos planteados, el proyecto presenta condiciones financieras favorables y capacidad para mantener su viabilidad frente a variaciones moderadas en las condiciones del mercado.

9.4.6 Recomendaciones para la priorización de inversiones técnicas

La toma de decisiones sobre nuevas inversiones debe sustentarse en un análisis conjunto de criterios técnicos, operativos y financieros. En la pequeña minería de oro, inversiones como la adquisición de maquinaria, la apertura de nuevos frentes de explotación, la ampliación de infraestructura o la incorporación de nuevas tecnologías deben evaluarse considerando su impacto sobre la productividad, los costos, la seguridad, el desempeño ambiental y la rentabilidad del proyecto.

Como primer criterio, se recomienda determinar si la inversión contribuye a incrementar la producción, mejorar la recuperación del mineral, optimizar el uso de los recursos o reducir los costos operativos. Estas mejoras deben reflejarse en indicadores financieros como el margen operativo, el EBITDA, el EBIT y el flujo de caja, permitiendo verificar que los beneficios económicos compensan los recursos comprometidos.

Posteriormente, es conveniente evaluar la capacidad financiera de la operación mediante proyecciones de flujo de caja que permitan estimar los ingresos, los costos y las necesidades de inversión durante el horizonte de planeamiento. Sobre esta base, se recomienda aplicar indicadores de evaluación financiera como 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 comparar alternativas de inversión bajo criterios objetivos.

Finalmente, es recomendable desarrollar análisis de escenarios y sensibilidad que permitan evaluar el comportamiento del proyecto frente a variaciones en el precio del oro, la tasa de cambio, los costos operativos, la recuperación metalúrgica o los niveles de producción. Este ejercicio facilita identificar los factores que generan mayor impacto sobre la rentabilidad y fortalece la gestión del riesgo durante el planeamiento minero.



La **Figura 9-18** presenta una metodología secuencial para apoyar la priorización de inversiones técnicas mediante la integración de criterios técnicos, operativos y financieros, facilitando la toma de decisiones en proyectos de pequeña minería de oro.

Figura 9-18
Recomendaciones para las inversiones técnicas



En muchos casos, es más prudente priorizar inversiones orientadas a mejorar la eficiencia y reducir riesgos operativos en la producción de oro, como el mantenimiento de equipos, la optimización del transporte interno o mejoras en ventilación y seguridad. Este tipo de inversiones ayuda a evitar paradas inesperadas, mantener la continuidad de la producción y fortalecer la estabilidad de la operación. En la pequeña minería, la continuidad operativa y la eficiencia suelen ser más importantes que un crecimiento acelerado de la producción.

Como síntesis del proceso desarrollado en este capítulo, la **Figura 9-19** integra la secuencia de análisis financiero utilizada para apoyar el planeamiento minero. El esquema muestra la relación entre las proyecciones de producción, los ingresos, los costos, las inversiones, el flujo de caja y los principales indicadores financieros, cuya interpretación conjunta facilita la priorización de inversiones técnicas y la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad y rentabilidad del proyecto.

Figura 9-19

Proceso integrado para la evaluación financiera y priorización de inversiones en el planeamiento minero



9.4.7 Recomendaciones generales

La gestión financiera constituye un componente esencial para la sostenibilidad de las operaciones de pequeña minería de oro, especialmente en un contexto caracterizado por la volatilidad del precio internacional del oro, las variaciones de la tasa de cambio y el incremento de los costos operativos. En consecuencia, resulta fundamental que cada operación conozca con precisión su estructura de costos, de manera que los ingresos generados permitan cubrir los costos de producción, las inversiones requeridas y las obligaciones técnicas, ambientales, legales y tributarias.

Se recomienda mantener un seguimiento permanente de los costos directos e indirectos de la operación, prestando especial atención a rubros como combustible, mano de obra, mantenimiento, sostenimiento minero, transporte, energía e insumos. La identificación de oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y optimizar el uso de los recursos contribuye a reducir el costo unitario de producción y fortalecer la competitividad del proyecto.

Las decisiones de inversión deben sustentarse en análisis técnicos y financieros que consideren las características del yacimiento, la capacidad productiva de la operación, las condiciones del mercado y la disponibilidad de recursos. La utilización de herramientas 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) facilita la evaluación objetiva de las alternativas de inversión y reduce el riesgo asociado a la toma de decisiones.

Como síntesis del proceso desarrollado en este capítulo, la Figura 9-20 presenta las principales etapas de la evaluación financiera aplicadas al planeamiento minero, mostrando la relación entre las proyecciones de producción, los costos, las inversiones, los indicadores financieros y la priorización de inversiones técnicas para apoyar la toma de decisiones.

Figura 9-20

Proceso integrado para la evaluación financiera y priorización de inversiones en el planeamiento minero

An illustration showing a small mine entrance with a wooden frame. A yellow cart filled with gold nuggets is on a track in front of the entrance. A large calculator is placed in the foreground, partially overlapping the cart. The background is a simple grey rock formation.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA GESTIÓN FINANCIERA EN LA PEQUEÑA MINERÍA DE

- Conocer el costo real por onza de oro producida para tomar decisiones inteligentes.**
Registrar combustible, mano de obra, equipos (gravimetría, molienda), reactivos y transporte. Analizar si el precio del oro está cubriendo los costos y generando margen.
- Realizar mantenimientos preventivos para evitar paradas costosas e inesperadas.**
Revisar maquinaria y equipos de proceso (como plantas de cianuración o trituradoras) regularmente para reducir tiempos muertos.
- Invertir en equipos de recuperación de oro (gravimetría, molienda) solo si hay capacidad real y la mina puede asumirlo.**
Evaluar si la compra de nuevas trituradoras o ampliando frentes de trabajo logrará un retorno seguro sin quedar sobreendeudado.
- Incluir costos ambientales y gastos de cierre en la planeación financiera.**
Calcular y reservar los costos de obligaciones ambientales (manejo de relaves, mercurio o cianuro) y del cierre de mina para evitar sanciones futuras.
- Proyectar escenarios con precios de oro variables y dólar fluctuante.**
Evaluar cómo cambios en el precio del oro y la TRM pueden afectar ingresos y márgenes.

Finalmente, la formalización de la pequeña minería requiere complementar el cumplimiento de los requisitos técnicos, ambientales, sociales y de seguridad con una adecuada gestión financiera. Mantener registros confiables de producción, costos, ingresos e inversiones, realizar seguimiento periódico a los indicadores financieros y planificar las inversiones con criterios económicos fortalece la sostenibilidad de la operación, mejora el acceso a fuentes de financiación y contribuye a una gestión minera más eficiente, competitiva y responsable.



221



10. GLOSARIO TÉCNICO Y SIGLAS

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.

Aguas residuales mineras: aguas utilizadas o afectadas por la operación minera que requieren tratamiento antes de su vertimiento.

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 vegeta-

ción, 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 Oro.

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 Oro.

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.

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 ubica-

das 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 contenido de Oro 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.

Drenaje ácido de mina (DAM): fenómeno químico producido por la oxidación de minerales sulfurados, que genera aguas ácidas con metales disueltos, afectando cuerpos de agua y suelos.

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 del Oro.





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 Oro.

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.

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.

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 trata-

miento 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.

SIGLAS

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 ácido de mina

FUN: Formulario único nacional de licencia ambiental



11. 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? Upbizor. <https://www.upbizor.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, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones. 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., & Aide, T. M. (Completar año). Fragmentación del paisaje y pérdida de biodiversidad en ecosistemas tropicales.

Gómez, F., et al. (2024). *Impact of artisanal gold mining in community conserved areas with high biodiversity*.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2012). *Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad*. Instituto Humboldt.

International Council on Mining and Metals. (2023). *Mining Principles*. ICMM.

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*.

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*.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Decreto 1073 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía*.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Decreto 1886 de 2015, por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas*.

Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Decreto 539 de 2022, por el cual se expide el Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto*.

Ministerio de Minas y Energía. (2023). Resolución 1006 de 2023, por la cual se adoptan los Términos de Referencia para el Programa de Trabajos y Obras para la Explotación (PTOD).

Ministerio del Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.
Organización Internacional del Trabajo. (1995). Convenio sobre seguridad y salud en las minas (Convenio 176). OIT.

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.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2008). Uso del mercurio en minería de oro artesanal y de pequeña escala. PNUMA.

Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jordan, B. D. (2022). *Fundamentals of corporate finance* (14th ed.). McGraw-Hill Education.

Society for Mining, Metallurgy & Exploration. (2011). *SME Mining Engineering Handbook* (3rd ed.). SME.

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2014). *Lineamientos para una minería responsable*. UPME.

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2020). *Plan Nacional de Ordenamiento Minero 2020–2030*. UPME.

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.

United Nations Environment Programme. (2019). *Global Mercury Assessment 2018*. UNEP.



12. ANEXOS

Anexo 5. Lista de chequeo de buenas prácticas para el diseño minero.



Anexo 6. Lista de chequeo de buenas prácticas para el planeamiento minero.

230

Anexo 7. Lista de chequeo de buenas prácticas para la optimización del planeamiento minero.

Anexo 8. Gestión ambiental

- **Anexo 8.1.** Lista de verificación para el planeamiento ambiental de proyectos mineros.
- **Anexo 8.2.** Metodología paso a paso para la identificación de impactos ambientales.
- **Anexo 8.3.** Requerimientos ambientales en los diferentes instrumentos técnicos mineros.

Capítulo 5 — Lista de Verificación de Buenas Prácticas

Geología, Exploración y Caracterización del Depósito



231

Información de la verificación

Nombre de la operación minera:	
Titular / Responsable técnico:	
Municipio / Departamento:	
Fecha de verificación:	
Verificador (nombre y cargo):	

Instrucciones de uso

Diligencie cada ítem marcando Sí cuando la práctica se cumple de manera documentada y verificable, NO cuando no se cumple, o N/A cuando la práctica no aplica a las condiciones específicas de la operación. Use la columna de Observaciones para registrar evidencias, referencias documentales o acciones correctivas identificadas.

Sí = Cumple	NO = No cumple	N/A = No aplica	Observaciones = Evidencia o comentario del verificador
-------------	----------------	-----------------	--

Descripción y alcance del capítulo

Este instrumento de verificación está diseñado para evaluar el grado de cumplimiento de las buenas prácticas establecidas en el Capítulo 5 de la Guía de Buenas Prácticas para la Minería de Oro.

El capítulo 5 aborda la planificación técnica de la geología, los procesos de exploración y la correcta caracterización del depósito aurífero. Una gestión adecuada en esta fase garantiza que la operación minera disponga de información suficiente, confiable y actualizada para tomar decisiones seguras, ambientalmente responsables y económicamente viables.

La verificación cubre seis grandes componentes: (1) la integración y gestión de la información geológica; (2) los programas de exploración y muestreo; (3) el control de calidad de datos y laboratorio; (4) la estimación y clasificación de recursos; (5) los aspectos de seguridad y cumplimiento normativo; y (6) el proceso de beneficio aurífero.

Criterios de verificación

Nº	Buena práctica / Criterio de verificación	SÍ	NO	N/A	Observaciones / Evidencia
5.1 Integración y gestión de la información geológica					
1	Se dispone de un modelo geológico actualizado que integra litología, estructuras y alteraciones del depósito.				
2	Existe un sistema de gestión de datos (base de datos geológica) con respaldos periódicos y control de versiones.				
3	Los mapas geológicos de superficie están geo-referenciados y vinculados al sistema de coordenadas oficial.				
4	La información geológica es accesible al equipo técnico y está sistematizada para su consulta y actualización.				
5	Se documentan los cambios del modelo geológico y las causas que los originan.				



6	El modelo geológico contempla la variabilidad espacial de la ley de oro y minerales asociados.				
7	Se cuenta con secciones y planos geológicos a escalas adecuadas para las decisiones de planeación.				
5.2 Programas de exploración y muestreo					
8	Se ha diseñado un programa de exploración con objetivos claros, alcances definidos y cronograma.				
9	Las campañas de perforación o muestreo responden a una grilla sistemática adaptada a la geometría del depósito.				
10	Los sondeos y muestras están identificados, georreferenciados y registrados en base de datos.				
11	Los registros de perforación (litología, recuperación, RQD) son revisados y validados por geólogo calificado.				
12	Se aplican técnicas de muestreo apropiadas según el tipo de depósito (filón, aluvial, diseminado).				
13	Existe un protocolo para el manejo, embalaje y envío de muestras al laboratorio.				
14	Se realiza re-muestreo o duplicados como control de representatividad del muestreo primario.				
5.3 Control de calidad de datos y laboratorio					
15	Se implementa un programa QAQC con estándares certificados, blancos y duplicados por lote de muestras.				
16	Los resultados de laboratorio son validados antes de su ingreso a la base de datos geológica.				
17	Se utiliza al menos un laboratorio acreditado para los análisis de oro (fuego, ICP o equivalente).				
18	Existe comparación periódica de resultados entre laboratorios (chequeo externo o round-robin).				
19	Se documentan y gestionan las no conformidades de laboratorio (repeticiones, rechazo de datos anómalos).				
20	Los registros de cadena de custodia están completos y son trazables para cada muestra.				
5.4 Estimación y clasificación de recursos					
21	Se aplica un método geoestadístico o convencional reconocido para la estimación de recursos (kriging, inverso de la distancia, etc.).				
22	Los recursos están clasificados según estándar internacional (JORC, NI 43-101 o equivalente nacional).				
23	El informe de recursos incluye parámetros de corte, densidad, método y supuestos utilizados.				
24	El modelo de bloques o la base de cálculo de recursos es revisado por persona competente (Geólogo certificado).				
25	Se actualiza la estimación de recursos al incorporar nueva información de exploración o de mina.				
26	Se realiza análisis de sensibilidad de los recursos ante variaciones en la ley de corte.				
27	Los recursos sirven como base para el plan minero y el cálculo de reservas explotables.				
5.5 Seguridad y cumplimiento normativo (Decreto 1335/1987 y Decreto 1886/2015)					
28	El plan de exploración cumple con los requisitos del Decreto 1335 de 1987 en materia de ventilación y soporte.				
29	Se ha elaborado el plan de preparación y explotación conforme al Decreto 1886 de 2015.				
30	Existen planos de rutas de evacuación y refugios actualizados para las labores activas.				
31	El programa de seguridad contempla la inspección periódica de sostenimiento y frentes de trabajo.				
32	El uso, almacenamiento y transporte de explosivos cumple con la normativa Indumil y Decreto 1886 de 2015.				
33	Se realizan simulacros de emergencia al menos una vez al año con registro de participación.				



34	Los trabajadores tienen capacitación vigente en primeros auxilios y rescate minero.				
35	El plan de ventilación es evaluado cada vez que se avanza en nuevas labores subterráneas.				
5.6 Beneficio aurífero					
36	Se ha seleccionado el proceso de beneficio adecuado al tipo de mineralización (filón o aluvial).				
37	El proceso de beneficio está libre de uso de mercurio conforme a la Ley 1658 de 2013.				
38	Se lleva registro del balance metalúrgico mensual: $\text{Recuperación} = [(\text{Ley entrada} - \text{Ley colas}) / \text{Ley entrada}] \times 100$.				
39	El diseño de la presa de colas cumple con estándares de estabilidad geotécnica y control de drenaje ácido.				
40	Se implementa recirculación de agua en el proceso para minimizar captación y vertimientos.				
41	Los reactivos químicos (cianuro, cal, etc.) se almacenan y manejan conforme a fichas de seguridad (MSDS).				
42	Existe registro de muestras de producto final (dore o concentrado) con análisis de ley y peso.				

Resumen de cumplimiento

RESUMEN DE RESULTADOS				
Indicador	Total ítems	SÍ	NO	N/A
Total ítems verificados en este capítulo				
Porcentaje de cumplimiento (SÍ / Total aplicables $\times 100$)				
Nivel de cumplimiento alcanzado (ver escala)				

Escala de calificación del nivel de cumplimiento

90 - 100 % OPTIMO Opera bajo plenas buenas prácticas.	70 - 89 % ADECUADO Implementar ajustes menores.	50 - 69 % EN PROCESO Elaborar plan de mejora prioritario.	< 50 % CRITICO Intervención inmediata requerida.
---	---	---	---

Firmas de responsabilidad

Responsable técnico de la verificación Firma: _____ Nombre: _____ Fecha: _____	Representante legal / Titular minero Firma: _____ Nombre: _____ Fecha: _____	Autoridad / Supervisor externo (si aplica) Firma: _____ Nombre: _____ Fecha: _____
--	--	--

Nota: Este instrumento hace parte del sistema de gestión de buenas prácticas mineras y debe conservarse como evidencia documental de la verificación realizada. Se recomienda aplicarlo con una periodicidad mínima anual o cada vez que se realicen cambios significativos en la operación.

Capítulo 6 — Lista de Verificación de Buenas Prácticas

Planeamiento Minero de Operaciones Auríferas



234

Información de la verificación

Nombre de la operación minera:	
Titular / Responsable técnico:	
Municipio / Departamento:	
Fecha de verificación:	
Verificador (nombre y cargo):	

Instrucciones de uso

Diligencie cada ítem marcando SÍ cuando la práctica se cumple de manera documentada y verificable, NO cuando no se cumple, o N/A cuando la práctica no aplica a las condiciones específicas de la operación. Use la columna de Observaciones para registrar evidencias, referencias documentales o acciones correctivas identificadas.

SÍ = Cumple	NO = No cumple	N/A = No aplica	Observaciones = Evidencia o comentario del verificador
-------------	----------------	-----------------	--

Descripción y alcance del capítulo

Este instrumento de verificación está diseñado para evaluar el grado de cumplimiento de las buenas prácticas establecidas en el Capítulo 6 de la Guía de Buenas Prácticas para la Minería de Oro.

El capítulo 6 aborda la planificación integral de la operación minera, desde la definición del pit o frentes de explotación hasta la programación de producción y la gestión de riesgos. Un planeamiento minero riguroso permite optimizar la recuperación del recurso aurífero, garantizar la seguridad operacional y asegurar la viabilidad económica del proyecto en el tiempo.

La verificación cubre cuatro componentes clave: (1) el diseño de la mina y secuencia de explotación; (2) la planificación de producción y recursos; (3) la gestión de costos y viabilidad económica; y (4) los riesgos operacionales y planes de contingencia.

Criterios de verificación

Nº	Buena práctica / Criterio de verificación	SÍ	NO	N/A	Observaciones / Evidencia
6.1 Diseño de la mina y secuencia de explotación					
1	Existe un diseño de mina (<u>pit</u> , rampas, niveles o frentes) aprobado y actualizado.				
2	El diseño incorpora parámetros geotécnicos (ángulos de talud, sostenimiento) validados por especialista.				
3	La secuencia de minado está definida con criterios de dilución, recuperación y seguridad.				
4	Se cuenta con planos de diseño de labores a escala adecuada (1:500 o mejor) y geo-referenciados.				



5	El diseño contempla el manejo de aguas superficiales y subterráneas (drenaje, bombeo).				
6	Se actualizan los planos de diseño al menos cada semestre o ante cambios significativos en el depósito.				
7	El diseño de la mina considera zonas buffer de protección ambiental y comunidades aledañas.				
6.2 Planificación de producción y recursos					
8	Existe un plan de producción anual con metas de tonelaje y ley de corte definidas.				
9	El plan de producción está alineado con el modelo de recursos y las reservas estimadas.				
10	Se definen indicadores de desempeño (KPI) para producción, dilución y recuperación metalúrgica.				
11	El programa de perforación y voladura está planificado con anticipación mínima de un mes.				
12	Se realiza seguimiento mensual del plan de producción vs. producción real con análisis de desviaciones.				
13	El plan de producción incluye programación de mantenimiento preventivo de equipos críticos.				
14	Se documenta el avance real de labores mediante levantamientos topográficos periódicos.				
6.3 Gestión de costos y viabilidad económica					
15	Se tiene un presupuesto operativo anual desagregado por centros de costo (minado, beneficio, administración).				
16	Se realiza análisis de sensibilidad del proyecto ante variaciones del precio del oro ($\pm 20\%$).				
17	El costo por onza producida (AISC o equivalente) es calculado y revisado trimestralmente.				
18	Existe un flujo de caja proyectado que incluye inversiones de capital, costos operativos e impuestos.				
19	Se lleva contabilidad de costos separada para la operación minera conforme a normativa tributaria colombiana.				
20	Se evalúa la viabilidad de incorporar financiamiento externo o alianzas para fases de expansión.				
21	Los contratos de comercialización de oro están vigentes y con condiciones transparentes y documentadas.				
6.4 Riesgos operacionales y planes de contingencia					
22	Se ha elaborado una matriz de riesgos operacionales con probabilidad, impacto y responsable.				
23	Existen planes de contingencia para los riesgos más críticos (inundación, hundimiento, falla de equipos).				
24	Se realizan inspecciones de seguridad en frentes de trabajo con frecuencia mínima semanal.				
25	Los reportes de incidentes y casi-accidentes son registrados, analizados y comunicados al equipo.				
26	Existe un plan de gestión de cambios para decisiones que afecten el diseño o la secuencia de minado.				
27	El sistema de comunicaciones (radios, señales) está operativo y probado en toda la operación.				



Resumen de cumplimiento

RESUMEN DE RESULTADOS				
Indicador	Total ítems	SÍ	NO	N/A
Total ítems verificados en este capítulo				
Porcentaje de cumplimiento (SÍ / Total aplicables × 100)				
Nivel de cumplimiento alcanzado (ver escala)				

Escala de calificación del nivel de cumplimiento

90 - 100 % OPTIMO	70 - 89 % ADECUADO Implementar ajustes menores.	50 - 69 % EN PROCESO	< 50 % CRITICO Intervencion inmediata requerida.
----------------------	---	-------------------------	--

Anexo 7. Lista de chequeo de buenas prácticas para la optimización del planeamiento minero.



237

Capítulo 7 — Lista de Verificación de Buenas Prácticas

Optimización de Recursos y Procesos en Operaciones minería de oro

Información de la verificación

Nombre de la operación minera:	
Titular / Responsable técnico:	
Municipio / Departamento:	
Fecha de verificación:	
Verificador (nombre y cargo):	

Instrucciones de uso

Diligencie cada ítem marcando SÍ cuando la práctica se cumple de manera documentada y verificable, NO cuando no se cumple, o N/A cuando la práctica no aplica a las condiciones específicas de la operación. Use la columna de Observaciones para registrar evidencias, referencias documentales o acciones correctivas identificadas.

SÍ = Cumple	NO = No cumple	N/A = No aplica	Observaciones = Evidencia o comentario del verificador
-------------	----------------	-----------------	--

Descripción y alcance del capítulo

Este instrumento de verificación está diseñado para evaluar el grado de cumplimiento de las buenas prácticas establecidas en el Capítulo 7 de la Guía de Buenas Prácticas para la Minería de Oro.

El capítulo 7 se enfoca en la mejora continua de los procesos mineros y metalúrgicos, la eficiencia en el uso de recursos (agua, energía, insumos) y la innovación tecnológica aplicada a la minería aurífera. La optimización de recursos no solo reduce costos operativos, sino que también mejora el desempeño ambiental y la competitividad de la operación.

La verificación cubre cuatro componentes: (1) la eficiencia operacional y mejora continua; (2) la gestión ambiental y uso eficiente de recursos; (3) la innovación y adopción tecnológica; y (4) el desempeño social y relaciones con comunidades.

Criterios de verificación

Nº	Buena práctica / Criterio de verificación	SÍ	NO	N/A	Observaciones / Evidencia
7.1 Eficiencia operacional y mejora continua					
1	Se implementa un sistema de indicadores de eficiencia (OEE, utilización de equipos, factor de dilución).				
2	Se realizan reuniones de revisión de desempeño operacional con frecuencia mínima mensual.				
3	Existe un programa de mejora continua (Kaizen, lean mining o equivalente) activo y documentado.				



4	Los cuellos de botella del proceso de beneficio son identificados y gestionados con planes de acción.				
5	Se llevan registros de consumo de insumos (cianuro, cal, reactivos) por tonelada procesada.				
6	El rendimiento del molino y la recuperación de oro son monitoreados y comparados contra línea base.				
7	Se documentan las lecciones aprendidas de paradas no planificadas y fallas de proceso.				
7.2 Gestión ambiental y uso eficiente de recursos					
8	Existe un plan de manejo ambiental (PMA) actualizado y aprobado por la autoridad competente.				
9	Se monitorean y reportan los vertimientos de agua conforme a permisos ambientales vigentes.				
10	El consumo de agua por tonelada procesada es medido y se tienen metas de reducción.				
11	Se implementa un programa de gestión de residuos sólidos con separación en fuente y disposición autorizada.				
12	Los niveles de ruido y vibración por voladura son monitoreados y están dentro de los límites normativos.				
13	Se lleva inventario actualizado de fuentes de emisiones atmosféricas (material particulado, gases de combustión).				
14	Existe un programa de revegetalización o restauración progresiva de áreas intervenidas.				
7.3 Innovación y adopción tecnológica					
15	Se evalúan periódicamente nuevas tecnologías de procesamiento de oro (bioleaching, elución, etc.).				
16	La operación cuenta con software de planeación minera o gestión de producción actualizado.				
17	Se han implementado mejoras tecnológicas en los últimos dos años con resultados documentados.				
18	El personal técnico recibe capacitación en nuevas tecnologías aplicadas a la minería aurífera.				
19	Se analiza la viabilidad de automatización de procesos repetitivos o de alto riesgo.				
20	Existe cooperación con universidades, centros de investigación o gremios para transferencia tecnológica.				
21	Existe un plan de relacionamiento comunitario con actividades planificadas y presupuesto asignado.				
22	Se realizan reuniones de información y diálogo con comunidades vecinas al menos trimestralmente.				
23	La operación cumple con los compromisos sociales establecidos en la licencia ambiental o plan de trabajo.				
24	Se documenta y gestiona la atención de quejas, reclamos y sugerencias de la comunidad.				
25	El programa de empleo local está activo y los registros de contratación son accesibles.				
26	Se promueven proveedores y servicios locales dentro de la cadena de suministro de la operación.				
27	Existe un plan de cierre progresivo de la mina con componentes sociales (reinserción, reconversión económica).				

Resumen de cumplimiento

RESUMEN DE RESULTADOS				
Indicador	Total ítems	SÍ	NO	N/A
Total ítems verificados en este capítulo				
Porcentaje de cumplimiento (SÍ / Total aplicables × 100)				
Nivel de cumplimiento alcanzado (ver escala)				

Escala de calificación del nivel de cumplimiento

90 - 100 % OPTIMO	70 - 89 % ADECUADO Implementar ajustes menores.	50 - 69 % EN PROCESO	< 50 % CRITICO Intervencion inmediata requerida.
------------------------------	---	---------------------------------	---

Opera bajo plenas buenas prácticas.		Elaborar plan de mejora prioritario.	
-------------------------------------	--	--------------------------------------	--

Firmas de responsabilidad

Responsable técnico de la verificación	Representante legal / Titular minero	Autoridad / Supervisor externo (si aplica)
Firma: _____	Firma: _____	Firma: _____
Nombre: _____	Nombre: _____	Nombre: _____
Fecha: _____	Fecha: _____	Fecha: _____

Nota: Este instrumento hace parte del sistema de gestión de buenas prácticas mineras y debe conservarse como evidencia documental de la verificación realizada. Se recomienda aplicarlo con una periodicidad mínima anual o cada vez que se realicen cambios significativos en la operación.



Anexo 8. Gestión ambiental

Anexo 8.1. Lista de verificación para el planeamiento ambiental de proyectos mineros

Anexo 1. Listas de verificación para el planeamiento ambiental del proyecto minero

Objetivo: orientar la verificación de que las buenas prácticas ambientales fueron consideradas e incorporadas desde la etapa de planeamiento del proyecto minero, antes del inicio de las actividades.

1. Planeamiento de la gestión de residuos sólidos

1.1. Identificación y caracterización

ASPECTO	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	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	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	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. Planeamiento del recurso hídrico

2.1. Caracterización del área

ASPECTO	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. Planeamiento y diseño

ASPECTO	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 técnicamente viable?					

3. Seguimiento

ASPECTO	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. Planeamiento de emisiones atmosféricas

3.1 Caracterización

ASPECTO	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?					

3.2. Planeamiento y diseño

ASPECTO	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	SÍ	NO	NA	EVIDENCIA	OBSERVACIONES
¿Se definieron inspecciones periódicas e indicadores de					

4. Planeamiento de biodiversidad y ecosistemas

4.1. Caracterización

ASPECTO	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?					

4.2. Planeamiento y diseño

ASPECTO	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?					

4.3. Seguimiento

ASPECTO	SÍ	NO	NA	EVIDENCIA	OBSERVACIONES
¿Se definieron indicadores para evaluar la restauración y el estado de la biodiversidad?					



5 planeamiento del beneficio

1. Localización y diseño

ASPECTO	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?					

2. Medidas ambientales

ASPECTO	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?					

3. Seguimiento

ASPECTO	SÍ	NO	NA	EVIDENCIA	OBSERVACIONES
¿Se establecieron procedimientos e inspecciones periódicas para verificar el funcionamiento del beneficio?					



Anexo 8. Gestión ambiental

Anexo 8.2. Metodología paso a paso para la identificación de impactos ambientales.

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 sedimentación, régimen de flujo, capacidad de transporte 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.



245



Plan de Trabajos y Obras Complementario (PTOC). Resolución 414 de 2014	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.
	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 retrolenados, 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 solicitudes de contrato de concesión con requisitos diferenciales. Resolución 614 de 2020	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.
	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 exploración, 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.			

Anexo 8. Gestión ambiental

Anexo 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 "plasmar" 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.
Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD). Resolución 10 de 2024	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.
	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.



247



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 retrolenados, 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 consecuente 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 solicitudes de contrato de concesión con requisitos diferenciales. Resolución 614 de 2020	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.
	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 sobranes 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.
	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 exploración, 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 sobranes, cuando el TDR aplicable lo exija.
5. Plan de cierre, con recuperación/restauración/rehabilitación y costos asociados.