

GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS EN PLANEAMIENTO MINERO PARA OPERACIONES DE PEQUEÑA ESCALA Y FIGURAS DE FORMALIZACIÓN CARBÓN METALÚRGICO.

**CARBÓN
METALÚRGICO**

2026


Energía



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA (UPTC)
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (MME)

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO GGC-1876-2025

La presente Guía de Buenas Prácticas en Planeamiento Minero para Operaciones de Pequeña Escala y Figuras de Formalización de Carbón Metalúrgico se desarrolla 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 parte de las acciones orientadas al fortalecimiento técnico de la pequeña minería y los procesos de formalización minera en Colombia. Este documento reúne lineamientos, criterios técnicos y buenas prácticas para apoyar la planificación, el diseño, la operación, el seguimiento y el cierre de proyectos de explotación de carbón metalúrgico, promoviendo una gestión minera segura, eficiente, ambientalmente responsable y alineada con los principios de sostenibilidad y mejora continua.



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	21
1. ALCANCE, ESTRUCTURA Y PÚBLICO OBJETIVO	25
1.1. Alcance	25
1.2. Estructura	25
1.3. Público objetivo	26
2. MECANISMOS DE FORMALIZACIÓN MINERA	27
3. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO SOPORTE DEL PLANEAMIENTO MINERO	35
3.1. Marco normativo	36
3.2. Sistema de referencia	37
3.3. Presentación de planos	39
3.4. Información geografía por etapa de planeamiento minero	41
3.4.2. Componente geológico	42
3.4.2.1. Cartografía geológica	42
3.4.2.2. Cartografía hidrológica	43
3.4.2.3. Toma de muestras	44
3.4.2.4. Cartografía geotécnica	46
3.4.2.5. Evaluación y modelo geológico	47
3.4.3. Cartografía de minería	49
3.4.4. Cartografía ambiental	51
3.5. Entrega de la información conforme al Modelo de Datos Geográficos (MDG)	52
3.6. Entrega de información al Banco de Información Minera (BIM) del SGC	54
3.7. Reconciliación de recursos y reservas minerales	54
4. CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS OPERACIONES MINERAS, EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO, MODELAMIENTO GEOLÓGICO, ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS, Y DEFINICIÓN DEL SISTEMA Y MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	56
4.1. Caracterización y descripción general de las operaciones mineras	57
4.1.1. Componentes de la caracterización de la operación minera	58
4.1.2. Etapas generales de la operación minera	58
4.1.3. Relación con el modelo geológico y la estimación de recursos y reservas	59
4.1.4. Resultado esperado	59
4.2. Evaluación geológica y modelamiento	59
4.2.1. Geología regional	59
4.2.1.1. Alcance en pequeña minería	60



4.2.1.2. Componentes de la geología regional	62
4.2.1.3. Recomendaciones	65
4.2.2. Geología local	67
4.2.2.1. Alcance de la geología local en pequeña minería	67
4.2.2.2. Componentes de la geología local	68
4.2.2.3. Recomendaciones	73
4.2.3. Caracterización del depósito	74
4.2.3.1. Alcance en pequeña minería	75
4.2.3.2. Recomendaciones	80
4.2.4. Exploración directa, muestreo y control de calidad (QA/QC)	82
4.2.4.1. Alcance en pequeña minería	83
4.2.5. Componentes de la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC)	84
4.2.5.1. Controles básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) en pequeña minería	89
4.2.5.2. Recomendaciones	90
4.2.6. Modelo geológico	93
4.2.6.1. Alcance en pequeña minería	93
4.2.6.2. Componentes del modelo geológico	94
4.2.6.3. Representación aplicativa del modelo geológico	98
4.2.6.4. Resultados esperados	101
4.2.6.5. Recomendaciones	102
4.2.7. Estimación de recursos	102
4.2.7.1. Enfoques aplicables para la estimación de recursos	103
4.2.7.2. Validación perspectivas razonables de explotación	104
4.2.7.3. Alcance de la estimación de recursos en pequeña minería	106
4.2.7.4. Componente de la estimación de recursos	106
4.2.7.5. Resultados de la estimación del recurso	110
4.2.7.6. Recomendaciones	112
4.2.8. Estudio geotécnico	114
4.2.8.1. Alcance en pequeña minería	115
4.2.8.2. Componentes del estudio geotécnico en labores subterráneas de carbón	115
4.2.8.3. Recomendaciones	120
4.3. Definición del método de explotación	122
4.3.1. Selección preliminar del método de explotación	123
4.3.2. Criterios generales para la selección del método de explotación	123
4.3.3. Fundamentos para la selección del método de explotación	124
4.3.4. Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación	125

5. DISEÑO DE MINA 126

5.1. Consideraciones geotécnicas	126
5.1.1. Caracterización geomecánica	126
5.1.2. Diseño geomecánico	127
5.1.2.1. Geometría y profundidad	128
5.1.3. Selección del método de explotación	129
5.1.4. Selección del sistema de sostenimiento	130



5.1.4.1. Evaluación de riesgos geomecánicos	132
5.2. Consideraciones hidrogeológicas e hidrológicas	133
5.2.1. Caracterización de aguas superficiales y subterráneas	134
5.2.1.1. Manejo de aguas superficiales	134
5.2.1.2. Manejo de aguas subterráneas y desagüe minero	135
5.3. Consideraciones ambientales para el planeamiento minero	136
5.3.1. Gestión de áreas de exclusión Minera	137
5.3.2. Gestión de áreas con restricción para la actividad	138
5.3.3. Articulación del proyecto minero con el ordenamiento territorial	139
5.3.4. Gestión de determinantes ambientales	139
5.2.5. Gestión de áreas de importancia ambiental	139
5.4. Recomendaciones transversales para el diseño minero	139
5.4.1. Plan minero de explotación	140
5.4.1.1. Método de explotación, diseño minero y dimensionamiento geométrico de la explotación	141
5.4.1.2. Actividades de la operación minera	142
5.4.1.3. Beneficio y/o transformación de carbón metalúrgico	147
5.4.1.4. Servicios de la mina	150
5.4.1.5. Sostenimiento	153
5.4.1.6. Ventilación	155
5.4.1.7. Infraestructura minera	156
5.4.1.8. Manejo y disposición de estériles	157
5.4.1.9. Seguridad e higiene minera	159
5.4.1.10. Producción y cronograma de actividades	160
5.4.1.11. Recomendaciones generales	161

6. PLANEAMIENTO MINERO 162

6.1. Planeación estratégica – largo plazo	162
6.2. Planeación táctica – mediano plazo	165
6.2.1. Objetivos de la planeación táctica	165
6.2.2. Componentes de la planeación táctica	165
6.2.3. Beneficios de la planeación táctica	166
6.2.4. Buenas prácticas para un planeamiento a mediano plazo	166
6.3. Planeación operativa – corto plazo	167
6.3.1. Objetivos de la planeación operativa	167
6.3.2. Componentes de la planeación operativa	167
6.3.2.1. Recopilación de información operacional clave	167
6.3.2.2. Seguimiento al desempeño operacional	167
6.3.2.3. Planes de mejora inmediata	167
6.3.2.4. Seguimiento y control de recursos e insumos	168
6.3.3. Beneficios de la planeación operativa	168
6.3.4. Buenas prácticas para la planeación operativa	168
6.4. Planeación de cierre y poscierre	168
6.4.1. Recopilación de información ambiental de referencia	169
6.4.2. Identificación de la infraestructura minera remanente	169



7. OPTIMIZACIÓN DEL PLANEAMIENTO MINERO, MONITOREO Y CONTROL	174
7.1. Optimización del plan de minado	175
7.1.1. Optimización de la estimación de reservas	176
7.1.2. Optimización de la producción	177
7.1.3. Optimización en la productividad interna	181
7.1.4. Optimización del transporte interno	183
7.1.5. Optimización en ventilación	190
7.1.6. Optimización de la calidad del carbón producido	192
7.2. Monitoreo técnico y operacional	194
7.3. Sistemas de control y toma de decisiones	196
7.3.1. Componentes esenciales de un sistema de control en pequeña minería de para carbón metalúrgico	196
7.3.2. Proceso de toma de decisiones	197
7.3.3. Integración del sistema de control en la formalización minera	198
7.3.4. Enfoque de control minero y gerencial	199
7.4. Términos de referencia para el documento técnico de los Planes de trabajos y obras diferenciales PTOD	200
8. GESTIÓN AMBIENTAL	206
8.1. Articulación entre los Instrumentos Técnicos Mineros y la Licencia Ambiental	206
8.1.1. Requisitos para la solicitud de viabilidad y licenciamiento ambiental	208
8.2. Identificación de impactos ambientales	209
8.2.1. valuación de impactos ambientales en el marco de la formalización minera	209
8.2.2. Evaluación de impactos ambientales en el marco de la pequeña minería	210
8.3. Medidas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales	215
8.3.1. Gestión de materiales y residuos	216
8.3.1.1. Material estéril	217
8.3.1.2. Residuos sólidos ordinarios y peligrosos	220
8.3.1.2. Seguimiento y control residuos sólidos ordinarios y peligrosos	222
8.3.2. Gestión del recurso hídrico desde el planeamiento	223
8.3.3. Gestión de emisiones atmosféricas	225
8.3.4. Gestión de la biodiversidad y servicios ecosistémicos	227
8.3.5. Planeamiento de las áreas de beneficio y transformación del carbón metalúrgico	228
8.3.6. Gestión social integrada al planeamiento minero	232
8.3.7. Cierre y poscierre desde la etapa de planeamiento	234
8.4. Demás consideraciones ambientales	234
8.4.1. Permisos menores	234
8.4.2. Repositorios y herramientas ambientales para la planificación minera	236
9. PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN FINANCIERA	238
9.1. Identificación de costos directos e indirectos	239
9.1.1. CAPEX (Capital Expenditure)	239
9.1.2. OPEX (Operational Expenditure)	240
9.1.3. Costos fijos	243



9.1.4. Costo variable	243
9.1.5. Costos mixtos	243
9.1.6. Diferencias y semejanzas entre el costo directo e indirecto	244
9.1.7. Recomendaciones para la identificación de costos directos e indirectos	245
9.2. Control de gastos y recursos	246
9.2.1. Estados financieros	246
9.2.1.1. Estado de Situación Financiera (Balance General)	246
9.2.1.2. Estado de Resultados (P&L)	247
9.2.2. Ingresos	249
9.2.3. Costos	249
9.2.4. EBITDA	249
9.2.5. EBIT o utilidad operativa	249
9.2.6 Utilidad neta	249
9.2.7. Márgenes	250
9.2.7.1. Margen bruto	250
9.2.7.2. Margen operativo	251
9.2.7.3. Margen neto	251
9.2.8. Capital de Trabajo y KTNO	252
9.2.9. Flujo de caja	254
9.2.10. Recomendaciones generales para el control de gastos y recursos	256
9.3. Proyección financiera del plan de minado	256
9.3.1. Proyección de ventas mensual	257
9.2.3. Proyecciones financieras y el entorno macroeconómico	259
9.4. Priorización de inversiones técnicas	261
9.4.1. Valor Presente Neto (VPN)	262
9.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	263
9.4.3. Payback (Período de Recuperación)	263
9.4.4. Punto de equilibrio	264
9.4.5. Retorno sobre el Capital Invertido (ROIC)	264
9.4.6. Recomendaciones para la priorización de inversiones técnicas	266
9.4.7. Recomendaciones generales	267
10. GLOSARIO TÉCNICO	269
11. SIGLAS	275
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	276
13. ANEXOS	279
Anexo 5.1 Lista de verificación de buenas prácticas mineras	280
Anexo 5.2 Registros de producción. Turnos	291
Anexo 5.3 Ejemplo amenazas y vulnerabilidad riesgos críticos	293
Anexo 8.1 Listas Verificación Planeamiento Ambiental Proyecto Minero	303
Anexo 8.2 Implementación de tecnologías limpias en minería de carbón metalúrgico en Colombia	310



Anexo 8.3 Requerimientos ambientales en los diferentes instrumentos técnicos mineros. _____	316
Anexo 8.4 Paso a paso planteado en la identificación de impactos ambientales. _	318

Figuras

Figura 2-1 Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización _____	27
Figura 2-2 Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización _____	28
Figura 2-3 Clasificación minera Carbón metalúrgico _____	34
Figura 3-1 Secuencia metodológica de la información geográfica para el planeamiento minero	35
Figura 3-2 Marco normativo aplicable al planeamiento minero en Colombia _____	36
Figura 3-3 Plataforma IGAC, conversión de Coordenadas _____	38
Figura 3-4 Formato general y rótulo para la presentación de planos mineros _____	40
Figura 3-5 Secuencia metodológica de la información cartográfica por etapas del planeamiento minero. _____	41
Figura 3-6 Protocolo de muestreo y custodia _____	45
Figura 3-7 Ejemplo de visualización de modelo geológico 3D de mantos de carbón _____	49
Figura 3-8 Ejemplo de obligatoriedad de objetos o capas geográficas del MDG _____	53
Figura 3-9 Ejemplo de estructura de almacenamiento de la Geodatabase (GDB) _____	54
Figura 3-10 Formulario de reconciliación de recursos minerales _____	55
Figura 4-1 Aspectos evaluados en la geología regional. _____	60
Figura 4-2 Ejemplo ilustrativo de un afloramiento regional correspondiente a una secuencia sedimentaria portadora de carbón _____	66
Figura 4-3 Aspectos evaluados en la geología local _____	67
Figura 4-4 Ejemplos de observaciones de geología local en mantos de carbón en labores subterráneas _____	72



Figura 4-5

Ejemplo ilustrativo de la evaluación geológica
de un frente de avance en una mina subterránea de carbón. _____ 74

Figura 4-6

Aspectos evaluados en la caracterización del depósito _____ 75

Figura 4-7

Ejemplo de observaciones utilizadas para la caracterización
geológica de mantos de carbón _____ 79

Figura 4-8

Ejemplo ilustrativo del reconocimiento geológico y muestreo de un manto de carbón en
una labor subterránea _____ 82

Figura 4-9

Aspectos evaluados durante la exploración directa, el muestreo
y el control de calidad (QA/QC) _____ 83

Figura 4-10

Muestreo de canal en un manto de carbón en frente de mina subterránea _____ 88

Figura 4-11

Ejemplo ilustrativo de la aplicación de buenas prácticas
durante la exploración directa, el muestreo y el control
de calidad (QA/QC) de un manto de carbón _____ 92

Figura 4-12

Componentes para la elaboración del modelo geológico _____ 93

Figura 4-13

Ejemplo de zonas evaluadas del manto de carbón en frente de mina subterránea. _ 99

Figura 4-14

Componentes de la estimación de recursos de carbón _____ 103

Figura 4-15

Ejemplo ilustrativo de la delimitación de sectores
para la estimación preliminar de recursos en una labor subterránea de carbón ____ 113

Figura 4-16

Aspectos evaluados en el estudio geotécnico _____ 114

Figura 4-17

Ejemplo de clasificación geotécnica del macizo rocoso en labores subterráneas
de carbón según condiciones de estabilidad (estable, condicionada e inestable) __ 119

Figura 4-18

Ejemplo ilustrativo de la evaluación geotécnica en una labor
subterránea de avance horizontal _____ 122

Figura 4-19

Proceso general para la selección preliminar del método de explotación. _____ 125

Figura 5-1

Parámetros del yacimiento _____ 128

Figura 5-2

Factores para la elección del método de explotación _____ 129

Figura 5-3

Métodos de explotación _____ 130

Figura 5-4

Métodos para selección del sostenimiento	131
Figura 5-5	
Principales tipos de sostenimiento en minería subterránea	132
Figura 5-6	
Evaluación de riesgos geomecánicos	133
Figura 5-7	
Determinantes ambientales para planeamiento minero	137
Figura 5-8	
Consulta anticipada y obligatoria como determinante ambiental	138
Figura 5-9	
Restricciones ambientales para un planeamiento minero	138
Figura 5-10	
Elementos claves de diseño	140
Figura 5-11	
Frente de explotación.....	141
Figura 5-12	
Principios de diseño minero	141
Figura 5-13	
Proceso metodológico para el diseño minero	142
Figura 5-14	
Tipos de arranque (minería subterránea)	143
Figura 5-15	
Paso a paso arranque y transporte	144
Figura 5-16	
Ciclo de transporte en minería subterránea (carbón)	144
Figura 5-17	
Vagoneta con tracción humana	145
Figura 5-18	
Vagoneta con malacate	146
Figura 5-19	
Camión tipo volqueta	146
Figura 5-20	
Paso a paso transporte	147
Figura 5-21	
Benéfico y transformación.....	148
Figura 5-22	
Trituración controlada	148
Figura 5-23	
Clasificación granulométrica.....	148
Figura 5-24	
Retiro de estériles e impurezas visibles	148
Figura 5-25	
Manejo y control de finos	149
Figura 5-26	
Acopio temporal	149
Figura 5-27	



Lineamientos técnicos para el beneficio del carbón metalúrgico _____	150
Figura 5-28	
Energía y electrificación en una mina _____	151
Figura 5-29	
Secuencia para la implementación del sistema de energía y electrificación _____	151
Figura 5-30	
Manejo de aguas en minería (subterránea) _____	152
Figura 5-31	
Lineamientos técnicos para los sistemas de apoyo a la operación minera _____	153
Figura 5-32	
Principales sistemas de sostenimiento en minería subterránea de carbón _____	154
Figura 5-33	
Paso a paso diseño sostenimiento _____	154
Figura 5-34	
Proceso general para el diseño del sistema de ventilación _____	155
Figura 5-35	
Lineamientos técnicos para el diseño de la infraestructura minera de superficie __	157
Figura 5-36	
Lineamientos técnicos que deben considerarse para el diseño de botaderos de estéril _____	158
Figura 5-37	
Paso a paso Higiene y seguridad _____	159
Figura 5-38	
Proceso general para la planificación de la producción y el cronograma de actividades _____	160
Figura 6-1	
Buenas prácticas para planeamiento a largo plazo _____	164
Figura 6-2	
Buenas prácticas planeamiento a mediano plazo _____	166
Figura 6-3	
Buenas prácticas planeamiento operativo _____	168
Figura 6-4	
Criterios para tener en cuenta para la recolección de información histórica criterios de recolección de información ambiental _____	169
Figura 6-5	
Instalaciones remanentes _____	170
Figura 6-6	
Valoración y priorización de los riesgos _____	171
Figura 6-7	
valoración de los riesgos _____	172
Figura 6-8	
Buenas prácticas para el plan poscierre _____	173
Figura 7-1	
Factores de viabilidad del proyecto _____	176
Figura 7-2	
Aspectos a considerar en la optimización de las reservas de carbón _____	177



Figura 7-3	
Factores para la selección del método de explotación	179
Figura 7-4	
Parámetros de diseño	180
Figura 7-5	
Proceso de arranque y cargue manual	182
Figura 7-6	
Buenas prácticas para las actividades de cargue de mineral y estéril	183
Figura 7-7	
Funciones del transporte interno	185
Figura 7-8	
Optimización en productividad	190
Figura 7-9	
Pasos básicos en el proceso de monitoreo y control	194
Figura 7-10	
Diagrama de flujo para la medición y el control operacional	195
Figura 7-11	
Sistemas de control aplicable minería pequeña de carbón metalúrgico	197
Figura 7-12	
Diagrama de flujo para la toma de decisiones	198
Figura 7-13	
Sistemas de control para la formalización	198
Figura 7-14	
Tipos de control aplicados a la gestión de operaciones mineras	199
Figura 8-1	
Lista de requisitos para tramites ambientales ante la autoridad ambiental	208
Figura 8-2	
Documentos anexos de la Resolución 1830 de 2024	210
Figura 8-3	
Paso a paso para identificación de impactos ambientales en el proyecto minero	211
Figura 8-4	
Paso a paso para gestionar impactos	215
Figura 8-5	
Gestión ambiental desde el planeamiento minero	216
Figura 8-6	
Clasificación de generación de estéril en minería de carbón	217
Figura 8-7	
Disposición adecuada para materiales estériles a partir de proceso minero	218
Figura 8-8	
Proceso de revegetalización de taludes en minería de carbón metalúrgico	219
Figura 8-9	
Esquema para disposición adecuada de residuos sólidos	221
Figura 8-10	
Selección de punto ecológico y punto RESPEL	222
Figura 8-11	
Ejemplo de planificación del seguimiento y monitoreo ambiental del recurso hídrico	



para minería de carbón	225
Figura 8-12	
Ejemplo de planificación del seguimiento y monitoreo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos	228
Figura 8-13	
Buenas prácticas para el beneficio y transformación del mineral	229
Figura 8-14	
Donde no se deben ubicar las instalaciones de beneficio y transformación	230
Figura 8-15	
Ejemplo de buenas prácticas en las actividades de beneficio y transformación.	231
Figura 8-16	
Guía para una gestión social responsable	232
Figura 8-17	
Lista de chequeo para cierre minero	234
Figura 9-1	
Inversiones y activos a largo plazo	240
Figura 9-2	
Principales costos y gastos en operaciones de minería de carbón metalúrgico ____	241
Figura 9-3	
Comparación entre CAPEX y OPEX	242
Figura 9-4	
Comparación entre costos fijos, variables y mixtos	243
Figura 9-5	
Recomendaciones de gestión de costos indirectos y directos	245
Figura 9-6	
Ejemplo de Balance General	247
Figura 9-7	
Estructura general del Estado de Resultados (P&L)	248
Figura 9-8	
Recomendaciones para el análisis del Estado de Resultados	248
Figura 9-9	
Tipos de márgenes de rentabilidad	250
Figura 9-10	
Capital de trabajo	253
Figura 9-11	
KTNO	253
Figura 9-12	
Flujo de caja libre	255
Figura 9-13	
Recomendaciones sobre control de gastos y recursos	256
Figura 9-14	
Proyecciones financieras y entorno macroeconómico	260
Figura 9-15	
Priorización financiera de inversiones técnicas	262
Figura 9-16	
Fórmula del punto de equilibrio	264



Figura 9-17

Análisis financiero de un proyecto minero de pequeña escala 265

Figura 9-18

Recomendaciones para las inversiones técnicas 267

Figura 9-19

Recomendaciones generales para la gestión financiera
en la pequeña minería de carbón 268

Tablas

Tabla 21

Clasificación de los mecanismos de formalización en Colombia 29

Tabla 31

Fuentes oficiales recomendadas 37

Tabla 3-2

Parámetros de Proyección Geográfica CTM12 38

Tabla 33

Elementos Cartográfico Topografía 42

Tabla 3-4

Elementos cartográficos geología 43

Tabla 3-5

Elementos cartográficos hidrología 44

Tabla 3-6

Elementos cartográfico y laboratorios 45

Tabla 3-7

Elementos cartográficos para la caracterización geotécnica del macizo rocoso 47

Tabla 3-8

Parámetros mínimos para la construcción del modelo geológico 48

Tabla 3-9

Elementos cartográficos de minería 50

Tabla 3-10

Elementos cartográficos ambientales 51

Tabla 4-1

Esquema general de la caracterización de la operación minera 57

Tabla 4-2

Componentes básicos de la caracterización de la operación minera 58

Tabla 4-3

Alcance de la evaluación geológica regional en pequeña minería 61

Tabla 4-4

Fuentes oficiales recomendadas 61



Tabla 45

Componentes de la evaluación regional del carbón y su aplicabilidad
en pequeña minería 62

Tabla 4-6

Secuencia metodológica para la evaluación de la geología regional
en proyectos de pequeña minería de carbón Protocolo práctico
para Geología Regional 62

Tabla 4-7

Matriz de priorización regional 63

Tabla 4-8

Lista de chequeo para la evaluación geológica regional 64

Tabla 4-9

Recomendaciones para la geología regional 65

Tabla 4-10

Alcance de la evaluación geológica local en pequeña minería 68

Tabla 4-11

Componentes de la geología local en pequeña minería 69

Tabla 4-12

Protocolo práctico para geología local 69

Tabla 4-13

Formato básico para el registro de información geológica local..... 70

Tabla 4-14

Lista de chequeo para la evaluación geológica local 73

Tabla 4-15

Recomendaciones para la geología 73

Tabla 4-16

Alcance en la caracterización del yacimiento en pequeña minería..... 76

Tabla 4-17

Componentes de la caracterización del depósito 76

Tabla 4-18

Protocolo práctico para planear la Caracterización del yacimiento. 77

Tabla 4-19

Matriz de evaluación del yacimiento 78

Tabla 4-20

Lista de chequeo caracterización del yacimiento. 80

Tabla 4-21

Recomendaciones para la caracterización del yacimiento 81

Tabla 4-22

Alcance de la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC)
en pequeña minería 84

Tabla 4-23

Componentes de la exploración directa, el muestreo
y el control de calidad (QA/QC). 85

Tabla 4-24

Protocolo práctico para la exploración directa, el muestreo
y el control de calidad (QA/QC) 85



Tabla 4-25	
Tipos de muestreo y su aplicabilidad en pequeña minería	86
Tabla 4-26	
Información mínima requerida para el registro de muestreo	87
Tabla 4-27	
Controles básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) aplicables a la exploración y el muestreo de carbón en pequeña minería	89
Tabla 4-28	
Lista de chequeo exploración directa y muestreo.	90
Tabla 4-29	
Recomendaciones técnicas para exploración directa y muestreo.	91
Tabla 4-30	
Alcance del modelo geológico en pequeña minería	94
Tabla 4-31	
Componentes del modelo geológico y su aplicabilidad en pequeña minería.	94
Tabla 4-32	
Protocolo práctico para la construcción del modelo geológico	95
Tabla 4-33	
Uso del modelo geológico en pequeña minería de carbón	96
Tabla 4-34	
Elementos que debe integrar el modelo geológico.	96
Tabla 4-35	
Representación geométrica y continuidad del manto	97
Tabla 4-36	
Distribución de propiedades físicas y dominios de calidad del manto	97
Tabla 4-37	
Matriz de interpretación del modelo geológico en pequeña minería de carbón.	98
Tabla 4-38	
Nivel de información geológica y productos esperados según figura de formalización.	100
Tabla 4-39	
Lista de chequeo del modelo geológico en pequeña minería de carbón	101
Tabla 4-40	
Resultados esperados del modelo geológico en pequeña minería	101
Tabla 4-41	
Recomendaciones para la construcción del modelo geológico	102
Tabla 4-42	
Evaluación geológica de perspectivas razonables de explotación	104
Tabla 4-43	
Ejemplo aplicado de evaluación de perspectivas razonables de explotación.	105
Tabla 4-44	
Alcance de la estimación de recursos en pequeña minería	106
Tabla 4-45	
Componentes de la estimación de recursos y su aplicabilidad en pequeña minería.	107
Tabla 4-46	
Protocolo práctico para planear la estimación de recursos	107



Tabla 4-47	
Cálculo del recurso estimado por sector_____	109
Tabla 4-48	
Interpretación de la estimación de recursos para el planeamiento minero _____	110
Tabla 4-49	
Resultados esperados de la estimación del recurso. _____	111
Tabla 4-50	
Lista de chequeo estimación de recursos _____	111
Tabla 4-51	
Recomendaciones para la estimación del recurso en pequeña minería _____	112
Tabla 4-52	
principales aspectos que deben evaluarse y su implicación en la operación minera	115
Tabla 4-53	
Componentes del estudio geotécnico en pequeña minería subterránea. _____	116
Tabla 4-54	
Protocolo práctico para planear la evaluación geotécnica en labores subterránea de carbón. _____	116
Tabla 4-55	
Matriz de priorización geotécnica en pequeña minería subterránea de carbón. ____	117
Tabla 4-56	
Clasificación tipo semáforo geotécnico para labores subterráneas de carbón. ____	118
Tabla 4-57	
Lista de chequeo evaluación geotécnica_____	120
Tabla 4-58	
Recomendaciones geotécnicas en pequeña minería subterránea. _____	120
Tabla 4-59.	
Criterios generales para la selección preliminar del método de explotación _____	124
Tabla 4-60	
Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación _____	125
Tabla 5-1	
Componentes para la caracterización del macizo rocoso_____	127
Tabla 6-1	
Principales riesgos de estabilidad física y química asociados al cierre de minas de carbón _____	172
Tabla 7-1	
Criterios técnicos para la selección del método de explotación _____	178
Tabla 7-2	
Comparación de parámetros técnicos de los métodos de explotación de carbón__	181
Tabla 7-3	
Equipos de cargue para la optimización de la operación minera _____	184
Tabla 7-4	
Sistemas de transporte para la optimización de la evacuación de carbón y material estéril _____	186
Tabla 7-5	
Características de las labores mineras para la optimización del sistema de extracción de carbón metalúrgico_____	189

Tabla 7-6	
Equipos de ventilación para la optimización del sistema de ventilación en minería subterránea. _____	191
Tabla 7-7	
Optimización en calidad del carbón metalúrgico _____	193
Tabla 7-8	
Control Operacional en Minería Subterránea de Carbón _____	196
Tabla 7-9	
Tipos de control aplicables al planeamiento minero y su finalidad. _____	200
Tabla 7-10	
Términos de referencia PTOD _____	201
Tabla 8-1	
Correspondencia entre los instrumentos técnicos mineros y la información contenida en la licencia ambiental. _____	207
Tabla 8-2	
Lista de verificación para la aplicación de instrumentos normativos en la evaluación de impactos ambientales _____	209
Tabla 8-3	
Correspondencia entre los componentes del Estudio de Impacto Ambiental y la metodología propuesta para la evaluación de impactos ambientales _____	211
Tabla 8-4.	
Relación entre actividades mineras, impactos y componentes ambientales afectados _____	212
Tabla 8-5	
Identificación de impactos componente aire _____	213
Tabla 8-6	
Identificación de impactos componente agua _____	213
Tabla 8-7	
Identificación de impactos componente suelo _____	213
Tabla 8-8	
Identificación de impactos componente comunidad _____	213
Tabla 8-9	
Identificación de nivel de impactos y cómo actuar _____	214
Tabla 8-10	
Seguimiento y control de manejo de ZODME _____	220
Tabla 8-11	
Metodología para el seguimiento y control de residuos sólidos ordinarios y peligrosos _____	223
Tabla 8-12	
Identificación de impactos de minería de carbón sobre el recurso hídrico _____	224
Tabla 8-13	
Gestión de emisiones atmosféricas _____	226
Tabla 8-14	
Principales impactos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y medidas de manejo ambiental en minería de carbón metalúrgico _____	227
Tabla 8-15	

Ejemplos prácticos para el cálculo del factor modificar social	233
Figura 8-18	
Definir la presentación de permisos menores.....	235
Tabla 8-16	
Permisos menores asociados al planeamiento minero	235
Tabla 8-17	
Principales instrumentos y herramientas de consulta para el planeamiento ambiental minero	237
Tabla 9-1	
Resumen tipos de costos	244
Tabla 9-2	
Flujo de caja libre	255
Tabla 9-3	
Proyección financiera mensual y anual de una operación de minería de carbón metalúrgico	259



INTRODUCCIÓN

El planeamiento minero constituye uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de proyectos de explotación de carbón metalúrgico, especialmente en las operaciones de pequeña escala y en aquellas vinculadas a procesos de formalización minera. Su adecuada implementación permite integrar criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales que orientan la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto, promoviendo el aprovechamiento racional del recurso mineral en concordancia con la normatividad vigente.

En esta guía, las buenas prácticas de planeamiento minero se entienden como el conjunto de principios, criterios técnicos y lineamientos metodológicos que orientan la formulación, diseño, desarrollo, seguimiento y cierre de un proyecto minero. Su aplicación favorece la reducción de la incertidumbre en la toma de decisiones, optimiza el aprovechamiento del yacimiento, fortalece la seguridad operacional y contribuye a la sostenibilidad técnica, económica, ambiental y social de la actividad minera.

Desde un enfoque de gestión integral del riesgo y sostenibilidad, el planeamiento minero trasciende el cumplimiento de las obligaciones legales, al convertirse en una herramienta estratégica para anticipar escenarios, optimizar los recursos disponibles y garantizar la viabilidad del proyecto en el corto, mediano y largo plazo. En el contexto de la pequeña minería, caracterizada por restricciones técnicas, operativas y financieras, un adecuado proceso de planeamiento permite disminuir la improvisación, mejorar la productividad y fortalecer la permanencia de la operación bajo condiciones de seguridad y responsabilidad.

En el caso específico del carbón metalúrgico, el planeamiento adquiere especial relevancia debido a las características geológicas de los mantos, la variabilidad de las condiciones geomecánicas, la presencia potencial de gases, los requerimientos de ventilación y sostenimiento, así como las exigencias ambientales y de seguridad propias de las explotaciones subterráneas. Estos factores hacen indispensable adoptar una visión integral que permita gestionar los riesgos y optimizar el desempeño de la operación.

Con base en este enfoque, la presente guía desarrolla el planeamiento minero a partir de cuatro componentes fundamentales, los cuales interactúan entre sí para apoyar la formulación y ejecución de proyectos técnicamente viables, ambientalmente responsables y económicamente sostenibles.

Componentes integrales del planeamiento minero



1. Componente geológico y cartográfico: fundamento técnico del proyecto

Constituye la base sobre la cual se estructura el planeamiento minero, al proporcionar el conocimiento del contexto geológico, la geometría y continuidad de los mantos de carbón, las condiciones estructurales del yacimiento y la estimación de recursos minerales. Este componente integra la información geológica, cartográfica y geotécnica necesaria para reducir la incertidumbre asociada al depósito y respaldar el diseño de la explotación.

2. Componente minero: planificación de la operación

Comprende la definición del método de explotación, la secuencia de desarrollo de las labores, la programación de la producción, el diseño de la infraestructura minera y la planificación de los recursos requeridos para garantizar una operación eficiente, segura y técnicamente viable. En la pequeña minería, este componente resulta esencial para optimizar el uso de los recursos disponibles y responder oportunamente a las condiciones cambiantes del yacimiento.

3. Componente ambiental: sostenibilidad y gestión del territorio

Integra la identificación, prevención, mitigación, corrección y seguimiento de los impactos ambientales derivados de la actividad minera desde las etapas iniciales del proyecto. Su incorporación temprana en el planeamiento favorece el cumplimiento de las obligaciones ambientales, la protección de los recursos naturales y la construcción de relaciones responsables con las comunidades y el territorio.

4. Componente financiero: viabilidad y sostenibilidad económica

Permite evaluar la factibilidad económica del proyecto mediante la estimación de inversiones, costos de operación, ingresos esperados, flujo de caja y análisis de rentabilidad. En las operaciones de pequeña escala, donde la actividad suele estar expuesta a variaciones en los precios del carbón, costos de producción y disponibilidad de recursos, la planificación financiera constituye una herramienta indispensable para apoyar la toma de decisiones y asegurar la sostenibilidad de la operación.

En la práctica, muchas operaciones de pequeña minería presentan limitaciones en el registro de información técnica, el control de costos y el seguimiento de indicadores de desempeño, lo que dificulta evaluar objetivamente su productividad y rentabilidad. Por esta razón, esta guía incorpora herramientas y lineamientos prácticos orientados a fortalecer la planificación, el seguimiento de la operación y la gestión financiera, de acuerdo con las capacidades propias de este tipo de explotaciones.

La presente guía tiene como propósito orientar a los pequeños productores de carbón metalúrgico y a los actores involucrados en procesos de formalización



minera en la planificación integral de sus operaciones, promoviendo la aplicación de buenas prácticas durante todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, desde la caracterización del yacimiento y el diseño de la explotación hasta el cierre y abandono de la mina.

En este contexto, la guía busca responder, entre otras, las siguientes preguntas orientadoras:

¿Cómo planificar de manera integral las diferentes etapas de un proyecto de explotación de carbón metalúrgico?

¿Cómo incorporar criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos que permitan cumplir la normatividad vigente y fortalecer la sostenibilidad del proyecto?

¿Cómo optimizar el aprovechamiento del recurso mineral, reducir los riesgos operacionales y generar valor para el titular minero y su área de influencia?

De esta manera, la guía proporciona herramientas técnicas y metodológicas que contribuyen al fortalecimiento de la toma de decisiones y promueven una minería de pequeña escala más segura, eficiente, formal y sostenible.





1. ALCANCE, ESTRUCTURA Y PÚBLICO OBJETIVO

1.1. Alcance

La Guía de Buenas Prácticas en Planeamiento Minero para Operaciones de Pequeña Escala y Figuras de Formalización de Carbón Metalúrgico establece lineamientos técnicos y metodológicos orientados a fortalecer la planificación integral de proyectos mineros, promoviendo la aplicación de criterios que contribuyan a mejorar la eficiencia operacional, la seguridad minera, el cumplimiento de la normatividad vigente y la sostenibilidad ambiental, social y económica de la actividad extractiva.

Su alcance comprende las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto minero, desde la recopilación y el análisis de la información geológica y cartográfica, el diseño de la mina y el planeamiento de la explotación, hasta el seguimiento y control de la operación, la optimización de los procesos productivos, la gestión ambiental, la evaluación financiera y la planificación del cierre minero. Para ello, la guía integra de manera articulada cuatro componentes fundamentales del planeamiento: geológico-cartográfico, minero, ambiental y financiero, reconociendo que la interacción entre ellos constituye la base para una toma de decisiones técnica, integral e informada.

La guía adopta un enfoque práctico dirigido principalmente a las operaciones de pequeña escala dedicadas a la explotación de carbón metalúrgico y a los proyectos que se desarrollan en el marco de las diferentes figuras y mecanismos de formalización establecidos por la legislación minera colombiana. No obstante, varios de los lineamientos y buenas prácticas aquí presentados podrán adaptarse a operaciones de mayor escala, considerando las particularidades técnicas, operativas, económicas y regulatorias de cada proyecto.

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

En este contexto, la guía constituye una herramienta de consulta y orientación técnica que busca fortalecer las capacidades de planificación de los pequeños productores de carbón metalúrgico, reducir la incertidumbre en la toma de decisiones, optimizar el aprovechamiento del recurso mineral y promover operaciones mineras seguras, eficientes, responsables y sostenibles.

1.2. Estructura

La guía ha sido organizada siguiendo la secuencia lógica del ciclo de vida de un proyecto de explotación de carbón metalúrgico, iniciando con la recopilación y análisis de la información técnica necesaria para el planeamiento y finalizando con los componentes ambiental, financiero y de cierre minero. Esta organización facilita la comprensión progresiva de cada etapa del proyecto y de la relación existente entre los diferentes instrumentos técnicos requeridos por la autoridad minera.

Su contenido se desarrolla mediante capítulos que abordan los principales componentes del planeamiento minero, desde la caracterización geológica del yacimiento hasta la evaluación integral del proyecto, incorporando criterios técnicos, metodológicos y buenas prácticas aplicables a las operaciones de pequeña escala y a los procesos de formalización minera.



Considerando que la presente guía está orientada principalmente a operaciones de pequeña escala y a proyectos que se desarrollan bajo diferentes figuras de formalización, resulta fundamental comprender el contexto en el cual estas modalidades se encuentran reguladas y su relación con el planeamiento minero. Conocer los mecanismos de formalización permite identificar los requisitos técnicos y las obligaciones que deben incorporarse desde las etapas iniciales del proyecto para avanzar hacia una minería legal, segura y sostenible.

1.3. Público objetivo

La presente Guía de Buenas Prácticas en Planeamiento Minero para Operaciones de Pequeña Escala y Figuras de Formalización de Carbón Metalúrgico está dirigida principalmente a los pequeños productores de carbón metalúrgico y a los actores que participan en procesos de formalización minera en Colombia. Su contenido busca fortalecer las capacidades técnicas para la planificación integral de las operaciones, promoviendo la aplicación de buenas prácticas durante las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto minero.

Entre los principales usuarios de esta guía se encuentran los titulares y operadores mineros de pequeña escala, beneficiarios de los diferentes mecanismos de formalización minera, ingenieros de minas, geólogos, profesionales ambientales, consultores, equipos técnicos encargados de la elaboración de instrumentos de planeamiento minero y funcionarios de las entidades del sector que desarrollan actividades de asistencia técnica, evaluación y seguimiento.



2. MECANISMOS DE FORMALIZACIÓN MINERA

La formalización minera en Colombia comprende un conjunto de mecanismos e instrumentos establecidos por la legislación vigente, cuyo propósito es promover el desarrollo de actividades mineras bajo condiciones de legalidad, sostenibilidad y cumplimiento de los requisitos técnicos, ambientales, sociales y de seguridad. Estas figuras buscan facilitar la incorporación progresiva de los pequeños productores al marco legal, fortaleciendo la planificación de las operaciones y fomentando la implementación de buenas prácticas durante todo el ciclo de vida del proyecto minero.

En este contexto, el planeamiento minero constituye un elemento transversal para los diferentes mecanismos de formalización, ya que proporciona las herramientas técnicas necesarias para sustentar el diseño, la ejecución y el seguimiento de las actividades extractivas. La **Figura 1-1** presenta los principales mecanismos de formalización minera contemplados en la legislación colombiana y su articulación con el desarrollo de proyectos de explotación de carbón metalúrgico.

La **Figura 2-1** presenta la estructura general de la guía y su articulación con los procesos y mecanismos de formalización minera.

Figura 2-1

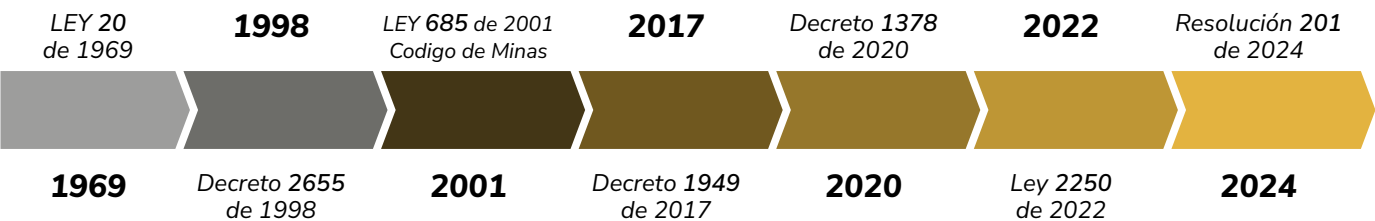
Normatividad articulada con los procesos y mecanismos de formalización



La figura muestra los principales mecanismos de formalización minera disponibles en Colombia y evidencia que, aunque cada uno responde a condiciones jurídicas y administrativas particulares, todos requieren la aplicación de criterios de planeamiento minero que permitan garantizar la viabilidad técnica, la seguridad operacional, el cumplimiento de la normatividad y la sostenibilidad de la actividad. En este sentido, la presente guía proporciona lineamientos que pueden ser aplicados de manera transversal, independientemente del mecanismo de formalización mediante el cual se desarrolle el proyecto.

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.

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



Fuente: el estudio



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 21

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 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). 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 Tiempos Clave Evaluación Aprobación Temporal Contrato Licencia Definitiva - Por única vez y NO requiere PIN. (Radicación en Anna Minería). - Se presenta por una Comunidad minera tradicional (Acreditar minería tradicional como mínimo desde el 11 de julio de 2012). - Los solicitantes no deben tener título, ni solicitudes mineras vigentes. - Se realiza visita de verificación de la tradicionalidad. - Prerrogativa de explotación cuando se viabilice el trámite (acto administrativo de declaración y delimitación del ARE). - Volúmenes de explotación de la pequeña minería. - La no presentación de la Licencia Ambiental Temporal (LAT) genera pérdida de la prerrogativa de explotación. - Publicación en el Ruco. - El Contrato Especial de Concesión se resuelve en un plazo máximo de 6 meses tras radicar el PTOD, requiriendo la aprobación de este instrumento técnico y la respectiva viabilidad ambiental.	Documento técnico explícito en la ANM, Resolución 201, 2024 art. 5. PTOD con términos de referencia según los dispuesto en el parágrafo 1 de la Ley 2250, 2022, art. 6. Licencia Ambiental Temporal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 1830, 2024) Licencia Ambiental Definitiva (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución, 2206, 2016)	Ley 685 de 2001, art. 31); Ley 2250, 2022, art. 4); Resolución, 201, 2024.	Contrato Especial de Concesión



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



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



7	Devolución de Áreas con fines de formalización	Devolución de área para la formalización ▪ 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, 200, 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



		▪ 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

Los mecanismos de formalización minera constituyen instrumentos diseñados para facilitar la incorporación progresiva de los pequeños productores al ejercicio legal de la actividad minera, mediante esquemas que promueven el cumplimiento de los requisitos técnicos, ambientales, sociales y jurídicos establecidos por la normatividad vigente. La selección del mecanismo más adecuado dependerá de las características de la operación, la situación jurídica del proyecto y las condiciones particulares del territorio.

No obstante, la transición hacia la formalización continúa representando un desafío tanto para los pequeños productores como para las entidades encargadas de su acompañamiento. Entre las principales dificultades se encuentran la limitada capacidad técnica y financiera de algunas operaciones, la complejidad de los procedimientos administrativos y la necesidad de fortalecer la asistencia institucional durante las diferentes etapas del proceso.

En este contexto, la implementación de buenas prácticas de planeamiento minero constituye un elemento fundamental para facilitar la formalización, al



proporcionar herramientas que permiten estructurar proyectos técnicamente viables, mejorar la seguridad operacional, optimizar el aprovechamiento del recurso mineral y avanzar hacia el cumplimiento de las obligaciones legales y ambientales.

Además de los mecanismos de formalización, el marco normativo colombiano establece una clasificación de la actividad minera según la escala de producción. Esta clasificación determina el régimen técnico y administrativo aplicable a cada proyecto y constituye un referente para la definición de los instrumentos de planeamiento, los requisitos operativos y las obligaciones regulatorias que deben cumplir las operaciones mineras

En Colombia, la clasificación de la minería se encuentra establecida mediante el Decreto 1666 de 2016, el cual define los criterios para diferenciar la

pequeña, mediana y gran minería de acuerdo con el tipo de mineral y los volúmenes máximos de producción anual. Para el caso del carbón metalúrgico, esta clasificación adquiere especial importancia, dado que este mineral fue declarado mineral estratégico mediante la Resolución 1006 de 2023, lo que resalta la necesidad de desarrollar operaciones planificadas, seguras, eficientes y alineadas con las políticas de aprovechamiento sostenible del recurso.

En concordancia con este marco normativo, la presente guía adopta como referencia la clasificación establecida para la pequeña minería y orienta sus lineamientos hacia este segmento productivo, sin perjuicio de que las buenas prácticas aquí desarrolladas puedan adaptarse a operaciones de mayor escala, atendiendo sus particularidades técnicas y operativas **(Figura 2-3)**.

Figura 2-3
Clasificación minera Carbón metalúrgico



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

En este contexto, la clasificación de las operaciones mineras constituye un referente para la aplicación de los requisitos técnicos, operativos y administrativos establecidos en la normatividad vigente. En particular, permite orientar la formulación de los instrumentos de planeamiento minero y la implementación de buenas prácticas acordes con la escala de producción. Por esta razón, la presente guía centra su desarrollo en las operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico y en los proyectos que avanzan mediante los diferentes mecanismos de formalización minera, proporcionando lineamientos que favorecen una gestión técnica, segura y sostenible de la actividad.



3. INFORMACIÓN GEOGRÁFICA COMO SOPORTE DEL PLANEAMIENTO MINERO

La información geográfica constituye uno de los principales soportes técnicos para el planeamiento minero en operaciones de pequeña escala de carbón metalúrgico.

Su adecuada recopilación, organización y análisis permiten integrar variables topográficas, geológicas, mineras, ambientales, prediales y de ordenamiento territorial, facilitando la toma de decisiones durante las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto.

En el contexto del planeamiento minero, la cartografía trasciende su función como representación gráfica del territorio y se consolida como una herramienta de análisis espacial que permite comprender la geometría del yacimiento, las características del relieve, la localización de las labores mineras, la infraestructura asociada y la interacción de la operación con su entorno. Asimismo, constituye un insumo fundamental para el diseño de la mina, la evaluación de restricciones técnicas y ambientales, y la gestión de riesgos.

En este sentido, la **Figura 3-1** presenta la secuencia metodológica propuesta para la recopilación, organización y utilización de la información geográfica como soporte del planeamiento minero.

Figura 3-1

Secuencia metodológica de la información geográfica para el planeamiento minero



La **Figura 3- 1** resume la secuencia metodológica para la incorporación de la información geográfica en el proceso de planeamiento minero. Cada etapa aporta información esencial para construir una base técnica confiable que permita caracterizar el territorio, diseñar la explotación y evaluar las con-



diciones que pueden influir en el desarrollo de la operación. La calidad y consistencia de esta información determinan la confiabilidad de los análisis posteriores y, en consecuencia, la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto.

3.1. Marco normativo

El planeamiento minero en Colombia se sustenta en un conjunto de disposiciones legales y técnicas que regulan la formulación, evaluación y seguimiento de los proyectos de explotación minera. Estas disposiciones establecen los instrumentos técnicos requeridos por la Agencia Nacional de Minería (ANM), de acuerdo con la figura jurídica bajo la cual se desarrolla la actividad minera o el correspondiente mecanismo de formalización.

Con la expedición de la Ley 685 de 2001 (Código de Minas) se estableció el marco jurídico vigente para el desarrollo de la actividad minera en Colombia, sustituyendo el régimen previsto en el Decreto 2655 de 1988, salvo las disposiciones transitorias aplicables a los títulos otorgados bajo dicha normativa.

En este contexto, la correcta identificación de la figura jurídica aplicable constituye un aspecto fundamental para definir el instrumento técnico que debe elaborarse y presentarse ante la autoridad minera competente. La **Figura 3-2** sintetiza la relación entre las principales figuras jurídicas vigentes y los instrumentos técnicos exigidos para el planeamiento minero.

Figura 3-2
Marco normativo aplicable al planeamiento minero en Colombia

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



Con el propósito de facilitar la consulta y aplicación de este marco normativo, la **Tabla 3-1** presenta la correspondencia entre las figuras jurídicas vigentes y los instrumentos técnicos requeridos por la autoridad minera. Esta información constituye una herramienta práctica para orientar la elaboración del planeamiento minero de acuerdo con las características y condiciones de cada proyecto



Tabla 31

Fuentes oficiales recomendadas

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

Resolución 299, 2018

Resolución 10, 2024

Resolución 417, 2014

Resolución 480, 2014.

3.2. Sistema de referencia

Con el propósito de garantizar la estandarización técnica, la consistencia espacial y la interoperabilidad de la información geográfica, se recomienda que la cartografía del proyecto minero se estructure utilizando el sistema oficial de referencia MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12), adoptado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) mediante la Resolución 471 de 2020. La aplicación de este sistema de coordenadas facilita la integración de la información geoespacial con las plataformas y herramientas empleadas por las

autoridades mineras, ambientales y demás entidades competentes. En este contexto, la **Tabla 3-2** presenta los principales parámetros técnicos de 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 -) Ej: 4.668730

Longitud (Este con signo +, Oeste con signo -) Ej: -74.100403

Convertir a Origen Nacional

Proyección para Colombia:

Sistema de proyección para Colombia:

Origen Nacional

Norte (m) Ej: 2000000

Este (m) Ej: 5000000

Convertir desde Origen Nacional

Nota. La herramienta puede consultarse en la plataforma oficial del IGAC: <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.

Buenas prácticas técnicas

Como parte del proceso de preparación y validación de la información geográfica, se recomienda aplicar las siguientes buenas prácticas:

1. Transformar las coordenadas que se encuentren en sistemas de referencia anteriores mediante la herramienta oficial del IGAC.
2. Utilizar el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12) para la elaboración y presentación de la información cartográfica.
3. Verificar que las coordenadas planas se encuentren expresadas en metros.
4. Confirmar que todas las unidades utilizadas en planos, bases de datos y archivos geoespaciales sean consistentes.
5. No utilizar Google Earth como fuente oficial para la obtención de coordenadas o la delimitación de áreas mineras.
6. No asumir equivalencia entre los sistemas de referencia WGS84 y MAGNA-SIRGAS, ya que presentan diferencias que pueden afectar la precisión espacial.
7. Evitar la combinación de coordenadas geográficas (grados) y coordenadas planas (metros) dentro de un mismo plano o producto cartográfico.
8. Incluir siempre el sistema de referencia utilizado en el rótulo, leyenda o metadatos del plano.
9. Entregar los productos cartográficos acompañados de sus archivos digitales georreferenciados y editables, garantizando su trazabilidad y actualización.



3.3. Presentación de planos

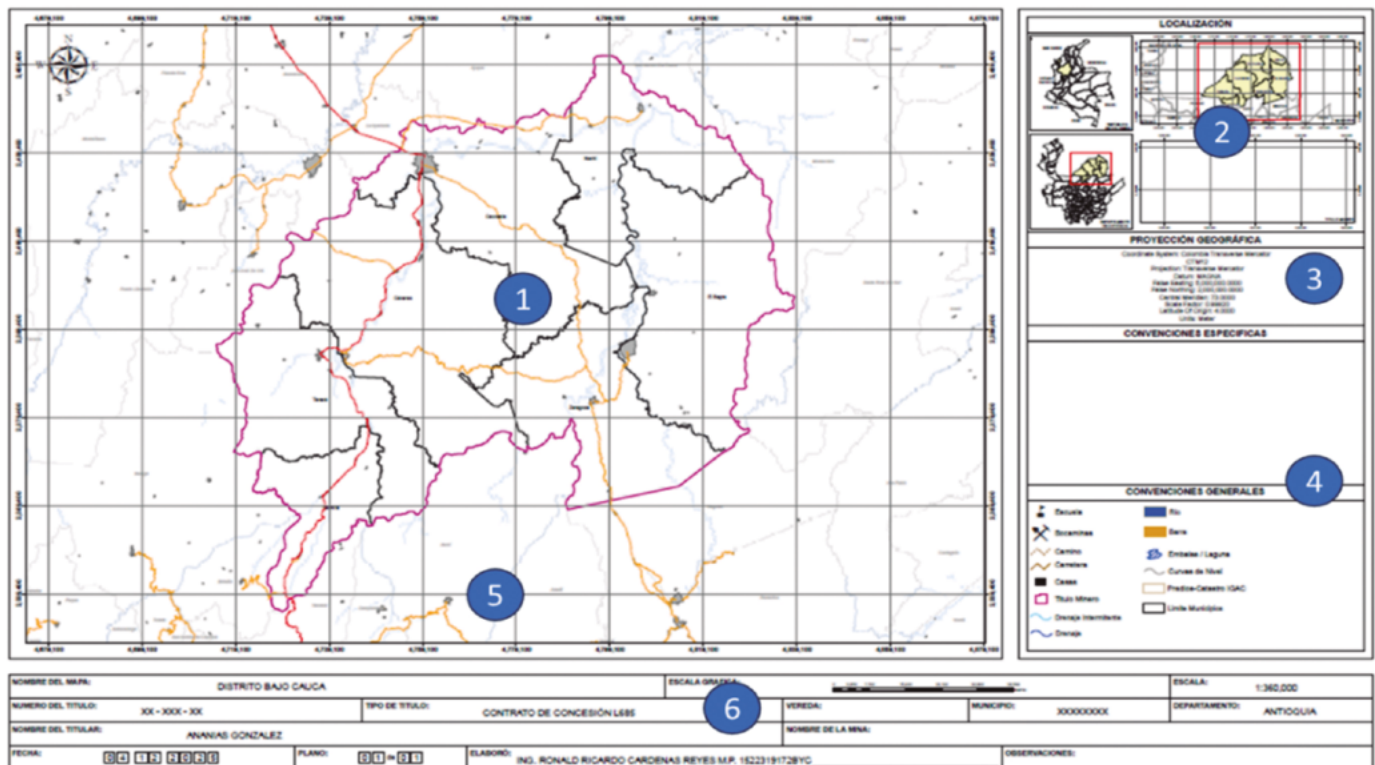
La presentación de la información cartográfica constituye un componente esencial del planeamiento minero, ya que permite representar de manera estandarizada las características del proyecto y facilita su interpretación por parte de las autoridades competentes y de los diferentes actores involucrados.

Los mapas y planos que soportan el planeamiento minero deberán elaborarse conforme a las especificaciones técnicas establecidas en la Resolución 40600 de 2015 del Ministerio de Minas y Energía, mediante la cual se adoptan las normas oficiales para la elaboración y presentación de planos y mapas aplicables a títulos y trámites mineros.

En este contexto, la **Figura 3-4** presenta el formato general del plano y los elementos mínimos que debe contener el rótulo cartográfico para garantizar la identificación, trazabilidad y validez técnica de la información geoespacial.



Figura 3-4
Formato general y rótulo para la presentación de planos mineros



Componentes básicos del plano

La **Figura 3 – 4** ilustra la distribución recomendada de los principales elementos que conforman un plano minero. La correcta organización de estos componentes facilita la lectura e interpretación de la información cartográfica, garantiza la estandarización de los productos técnicos y contribuye al cumplimiento de los requisitos establecidos por la autoridad minera.

Los principales componentes del formato cartográfico son los siguientes:

1. **Área de representación gráfica:** corresponde al espacio principal del plano donde se representa el polígono del proyecto minero y la información geográfica asociada, incorporando la base cartográfica y topográfica a una escala adecuada para el nivel de detalle requerido.
2. **Localización:** presenta la ubicación general del proyecto dentro del contexto nacional, departamental y municipal, permitiendo identificar espacialmente el área objeto del planeamiento minero, de conformidad con lo establecido en la Ley 685 de 2001.
3. **Sistema de referencia cartográfica:** indica el sistema oficial de coordenadas empleado para la elaboración del plano, correspondiente a MAGNA-SIRGAS Origen Nacional (CTM12), adoptado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) mediante la Resolución 471 de 2020.
4. **Convenciones generales y específicas:** incluyen la simbología utilizada para representar los diferentes elementos cartográficos. Las convenciones específicas corresponden a la información temática del plano (geología, infraestructura minera, recursos, reservas, entre otros), mientras que las generales representan elementos comunes como curvas de nivel, drenajes, vías, edificaciones y límites.
5. **Perfiles:** cuando las características del proyecto lo requieran, el plano podrá incorporar perfiles topográficos o geológicos que permitan repre-



sentar la geometría del terreno, las labores mineras o la disposición de los mantos de carbón en profundidad.

6. Rótulo cartográfico: contiene la información de identificación del plano, incluyendo el nombre del proyecto, código del título minero, ubicación, escala, sistema de referencia, profesional responsable, fecha de elaboración, versión y demás datos requeridos para asegurar la trazabilidad del documento.

3.4 Información geografía por etapa de planeamiento minero

La información geográfica debe estructurarse de manera progresiva y coherente con las diferentes etapas del planeamiento minero, garantizando que cada decisión técnica cuente con un soporte espacial confiable y verificable. La integración de la información cartográfica durante el ciclo de vida del proyecto permite fortalecer el análisis del territorio, optimizar el diseño de la explotación y facilitar el seguimiento de las actividades mineras.

En este contexto, la información geográfica se organiza en cuatro componentes integrados, los cuales responden a las necesidades de análisis y planificación propias de cada etapa del planeamiento minero. La **Figura 3-5** presenta la estructura general de estos componentes y su articulación dentro del proceso de planificación.

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.

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 instrumento 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.

Figura 3-5

Secuencia metodológica de la información cartográfica por etapas del planeamiento minero.



Tabla 33
Elementos Cartográfico 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 la base espacial para comprender y sustentar el yacimiento de carbón dentro del área de estudio. Su propósito es integrar, de manera georreferenciada, las unidades litológicas, estructuras y mantos, asegurando coherencia con el sistema oficial MAGNA-SIRGAS / CTM12.

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 geoméricamente las vetas en profundidad?	Estimación de recursos y definición de accesos	$\geq 1:2.000$	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	$\geq 1:2.000$	Integración de unidades, estructuras, puntos de control y datos de calidad.

Buenas prácticas técnicas

Como buenas prácticas técnicas, se recomienda:

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

3.4.2.2. Cartografía hidrológica

El objetivo es poder establecer el régimen pluviométrico y de caudales, para definir la capacidad de diseño de obras tales como sistema de drenaje y alcantarillas. Las escalas de trabajo y representación de cartografía dependen del detalle de estudio y extensión del mineral de interés, **La Tabla 3-5** resume los elementos cartográficos requeridos para el análisis hidrológico, orientados a la gestión del recurso hídrico y el control de riesgos en la operación minera.



Tabla 3-5
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 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.

Buenas prácticas técnicas

Como buenas prácticas técnicas, se recomienda:

- 1. Incorporar series históricas de precipitación de estaciones oficiales (IDEAM).
- 2. Georreferenciar todos los puntos de agua.
- 3. Integrar cartografía hidrológica con diseño minero.
- 4. No omitir drenajes temporales o intermitentes.
- 5. Documentar metodología de cálculo de áreas y pendientes.
- 6. Entregar archivos en formato editable SIG.

3.4.2.3. Toma de muestras

En este contexto, la cartografía de muestreo debe representar la ubicación precisa de las muestras recolectadas en campo, identificando los puntos de toma, el tipo de muestra, la codificación utilizada y demás atributos necesarios para asegurar la consistencia del proceso de caracterización geológica y la posterior evaluación de la calidad del carbón. La **Tabla 3-6** presenta los principales elementos cartográficos asociados al proceso de muestreo y análisis de laboratorio, los cuales permiten garantizar la representatividad, trazabilidad y confiabilidad de la información utilizada en la evaluación del yacimiento y en el planeamiento minero.



Tabla 3-6

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. Humedad residual (NTC3484) 3. Cenizas (NTC 1859) 4. Materia Volátil (NTC 2018) 5. Carbono Fijo (MATEMÁTICO) 6. Poder Calorífico (NORMA LECO) 7. Azufre (NORMA LECO) 8. Índice de Hinchamiento (NORMA 2075).

La información obtenida mediante el muestreo constituye uno de los principales insumos para la caracterización del yacimiento y la evaluación de la calidad del carbón. La adecuada georreferenciación de los puntos de muestreo y la trazabilidad de los resultados de laboratorio permiten correlacionar las características del mineral con las unidades geológicas, fortaleciendo la confiabilidad del modelo geológico y respaldando la estimación de recursos, el diseño de la explotación y la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

La siguiente **Figura 3-6** presenta el protocolo de muestreo y cadena de custodia, el cual asegura la integridad, trazabilidad y validez técnica de las muestras recolectadas en campo.

Figura 3-6

Protocolo de muestreo y custodia



Buenas prácticas técnicas

Como parte del proceso de muestreo, se recomienda aplicar las siguientes buenas prácticas:

1. Definir el número de muestras de acuerdo con los objetivos del estudio, el grado de variabilidad del yacimiento y el nivel de detalle requerido para la caracterización geológica, ya que no existe una cantidad única aplicable a todos los proyectos.
2. Proteger las muestras durante su recolección, almacenamiento y transporte para evitar contaminación, alteración o pérdida de sus características originales.
3. Garantizar que el tamaño de la muestra sea representativo del material evaluado, considerando que, para carbón, generalmente se emplean muestras con un peso aproximado entre **5 y 10 kg** (valor de referencia), de acuerdo con el propósito del análisis y los procedimientos de laboratorio.
4. Utilizar empaques adecuados e identificar cada muestra mediante un sistema de rotulación que asegure su correcta trazabilidad.
5. Realizar el registro fotográfico de las muestras debidamente empacadas y rotuladas antes de su envío al laboratorio.
6. Implementar controles durante el transporte para preservar la integridad física de las muestras hasta su recepción en el laboratorio.
7. Mantener un registro completo de la cadena de custodia, documentando la recolección, entrega, transporte, recepción y procesamiento de cada muestra.

Nota: en el punto 3, el valor 5–10 kg es una referencia. La cantidad puede variar según el tipo de ensayo, el protocolo de laboratorio y las características del carbón.



3.4.2.4. Cartografía geotécnica

La cartografía geotécnica tiene como propósito caracterizar las condiciones del macizo rocoso mediante la recopilación e integración de información obtenida en campo, ensayos de laboratorio y mediciones geotécnicas. Esta información permite evaluar el comportamiento geomecánico del terreno y constituye un insumo fundamental para el diseño, construcción y operación segura de las labores mineras subterráneas.

La elaboración de esta cartografía incorpora variables relacionadas con la litología, el grado de fracturamiento, la calidad del macizo rocoso, las discontinuidades estructurales y demás características que influyen en la estabilidad de excavaciones, accesos y frentes de explotación. La escala cartográfica deberá definirse de acuerdo con el nivel de detalle requerido y la etapa del proyecto minero.

La **Tabla 3-7** presenta los principales elementos cartográficos geotécnicos necesarios para evaluar la estabilidad del macizo rocoso y respaldar el diseño seguro de las labores mineras.



Tabla 3-7

Elementos cartográficos para la caracterización geotécnica del macizo rocoso

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.

La información geotécnica constituye un componente esencial del planeamiento minero, ya que permite identificar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso y definir las medidas necesarias para el diseño y sostenimiento de las labores subterráneas. La integración de esta información con los componentes geológico, topográfico y minero contribuye a reducir la incertidumbre en el diseño de la explotación y fortalece la gestión del riesgo geotécnico durante las diferentes etapas del proyecto.

3.4.2.5. Evaluación y modelo geológico

La evaluación y construcción del modelo geológico constituyen una etapa fundamental del planeamiento minero, ya que integran la información recopilada durante las fases de exploración y ca-

racterización del yacimiento para representar, de manera coherente, la geometría, continuidad y características del depósito de carbón. Este modelo se convierte en el principal soporte técnico para la estimación de recursos, el diseño de la explotación y la toma de decisiones en los niveles estratégico, táctico y operativo.

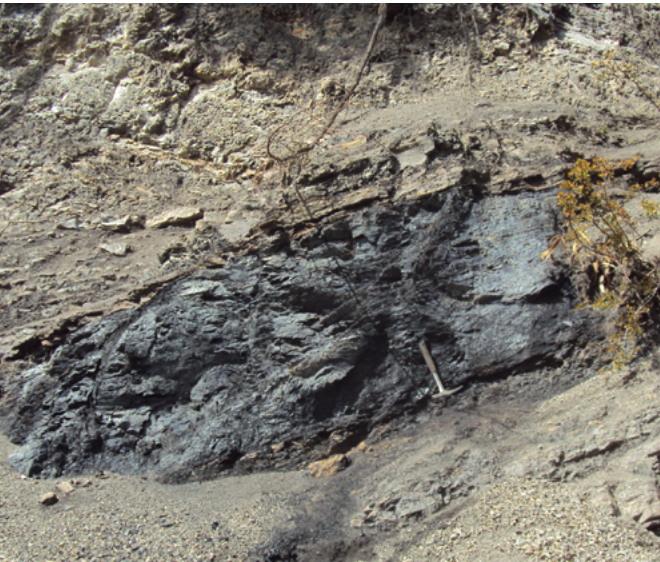
En las operaciones de pequeña escala de carbón metalúrgico, el modelo geológico debe integrar información geológica, estructural, estratigráfica, geotécnica, hidrogeológica y de calidad del carbón, garantizando una representación confiable de las condiciones del yacimiento. El nivel de detalle del modelo y la escala de representación cartográfica deberán definirse de acuerdo con la etapa del proyecto minero, la disponibilidad de información y los objetivos del planeamiento.



La Tabla 3-8 presenta los parámetros mínimos recomendados para la construcción del modelo geológico aplicado al planeamiento minero en operaciones de pequeña escala.

Tabla 3-8
Parámetros mínimos para la construcción del modelo geológico

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



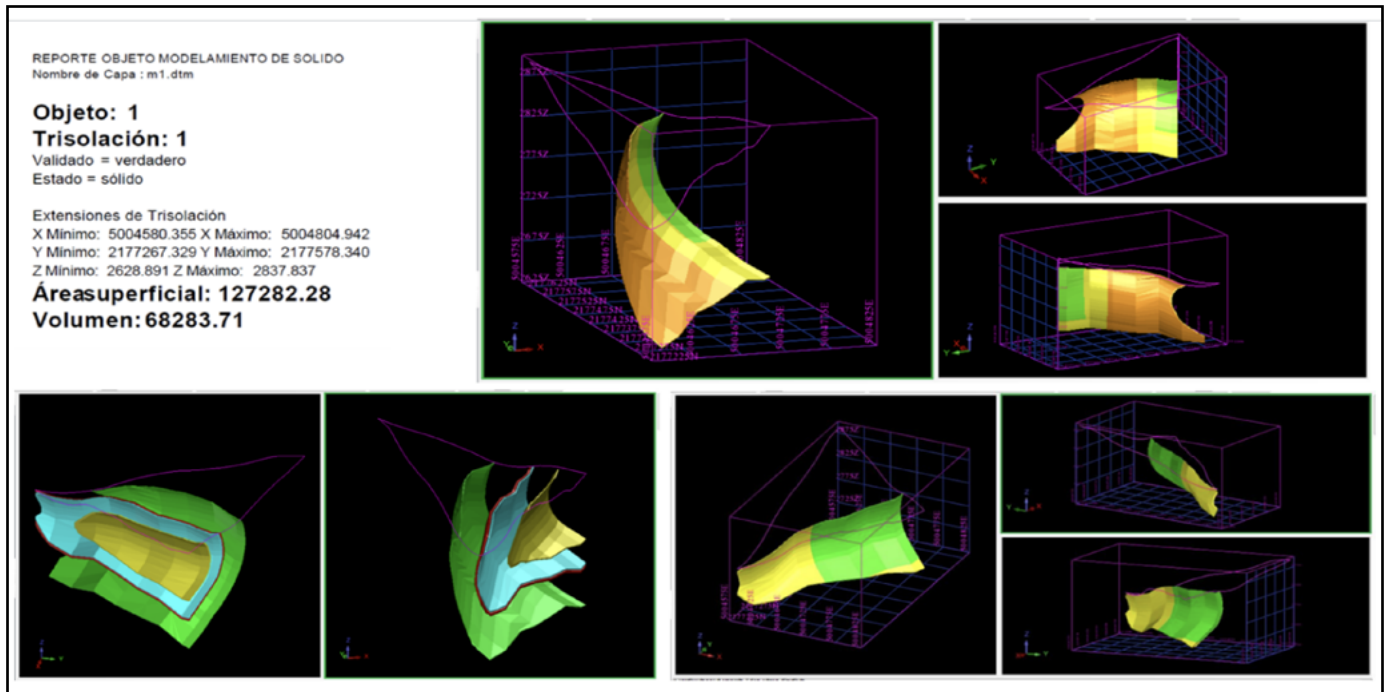
La integración de estos parámetros permite desarrollar un modelo geológico consistente y técnicamente sustentado, capaz de reducir la incertidumbre en la evaluación del yacimiento y de respaldar la planificación de las labores mineras. Asimismo, constituye un insumo esencial para la estimación de recursos, el diseño de la explotación, la evaluación de riesgos geológicos y la optimización del aprovechamiento del carbón.

La **Figura 3-7** presenta un ejemplo de un modelo geológico tridimensional para la representación de mantos de carbón, elaborado mediante los programas **AutoCAD** y **Surpac 6.6.2**.

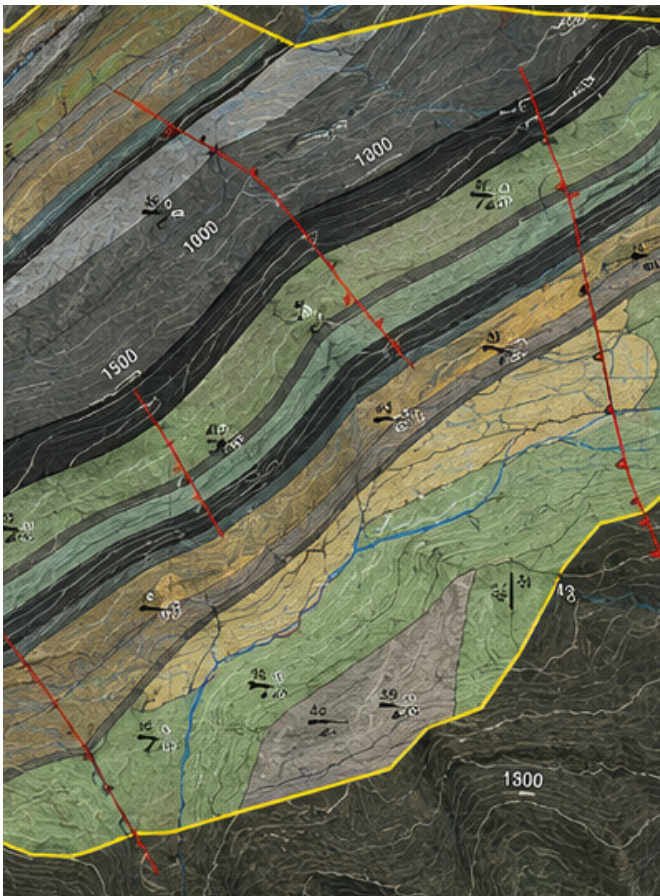


Figura 3-7

Ejemplo de visualización de modelo geológico 3D de mantos de carbón



Nota. Elaboración mediante AutoCAD y Surpac 6.6.2.



3.4.3. Cartografía de minería

El componente minero, debe garantizar la trazabilidad técnica entre el modelo geológico, el planeamiento minero y la ejecución operativa. Su finalidad no es únicamente representar labores proyectadas, sino demostrar coherencia técnica, viabilidad operativa, seguridad minera y cumplimiento normativo, según la Ley 685 de 2001, el Decreto 1073 de 2015 y los lineamientos aplicables de la Agencia Nacional de Minería.

La **Tabla 3-9** se presentan los elementos mínimos en cartografía aplicado al planeamiento minero en pequeña escala:



Tabla 3-9

Elementos cartográficos de minería

Elemento cartográfico	Pregunta técnica que debe responder	Decisión que soporta	Escala recomendada	Resultado esperado
Delimitación del área	¿Cuál es el polígono explotable real y qué restricciones lo condicionan?	Viabilidad jurídica y técnica del proyecto.	1:5.000 – 1:2.000 o más detallada	Área definitiva coherente con superposiciones y restricciones.
Áreas seleccionadas/ bloques	¿Qué sectores son técnica y económicamente explotables?	Priorización de frentes y programación productiva.	1:5.000 – 1:2.000	Bloques o áreas de explotación definidos.
Infraestructura actual	¿Qué capacidad instalada existe y cómo condiciona el plan minero?	Optimización de inversión y operación.	1:5.000 – 1:1.000	Plano integrado de infraestructura y servicios.
Labores actuales	¿Cuál es el estado real de desarrollo y explotación?	Control técnico y actualización del modelo.	1:2.000 – 1:1.000	Plano georreferenciado de labores activas.
Secuenciamiento del proyecto	¿Cómo avanzará la explotación en el tiempo?	Planeamiento estratégico, táctico y operativo.	1:2.000 – 1:1.000	Programa espacial de avance y retro llenado.
Operación minera (vías, drenajes, energía, seguridad)	¿Qué sistemas garantizan continuidad y seguridad operativa?	Diseño operativo integral.	1:2.000 – 1:1.000	Planos funcionales de transporte, desagüe, ventilación y seguridad.
Sostenimiento	¿Qué soporte requiere el macizo rocoso?	Estabilidad y seguridad de las labores.	1:2.000 – 1:1.000	Diseño de sostenimiento con criterios geotécnicos.
Ventilación	¿Cómo se asegura la calidad del aire y control de gases?	Seguridad y continuidad operativa.	1:2.000 – 1:1.000	Sistema de ventilación sectorizado y plan de contingencia.
Subsistencia/ hundimiento	¿Qué impacto superficial puede generar la explotación?	Prevención de afectaciones y gestión del riesgo	1:2.000 – 1:1.000	Zonificación de áreas potencialmente inestables.
Servidumbres y ordenamiento territorial	¿Cómo se integra el proyecto con el uso del suelo municipal?	Seguridad jurídica y coherencia territorial.	1:2.000 – 1:1.000	Plano articulado con POT, PBOT o EOT.
Manejo de estériles	¿Dónde y cómo se disponen materiales no aprovechables?	Estabilidad física y ambiental.	1:2.000 – 1:1.000	Diseño de botaderos con análisis de estabilidad.
Beneficio y transformación	¿Cómo se procesa el mineral extraído?	Optimización de calidad y comercialización.	1:2.000 – 1:1.000	Localización funcional de planta y flujos de proceso.
Recuperación geomorfológica	¿Cómo se rehabilitan áreas intervenidas?	Gestión ambiental progresiva.	1:2.000 – 1:1.000	Plan de recuperación integrado al avance minero.
Cierre y abandono	¿Cómo finaliza técnica y ambientalmente el proyecto?	Sostenibilidad post-operativa.	1:2.000 – 1:1.000	Plan de cierre articulado al ordenamiento territorial.

Buenas prácticas técnicas

Como buena práctica técnica, se recomienda:

- Diferenciar claramente la cartografía correspondiente a las labores existentes de aquella que representa las labores proyectadas, utilizando convenciones gráficas que faciliten su interpretación.
- Registrar la fecha de elaboración, levantamiento y última actualización de cada plano, con el fin de garantizar la vigencia y trazabilidad de la información cartográfica.
- Elaborar la cartografía a partir de información levantada y verificada en campo, evitando el uso de diseños genéricos o representaciones que no reflejen las condiciones reales de la operación minera.
- Diferenciar la cartografía asociada al planeamiento de corto, mediano y largo plazo, de acuerdo con el horizonte de planificación establecido para la operación minera.
- Identificar y representar cartográficamente los riesgos que puedan afectar el desarrollo de las labores mineras, incorporando las medidas de prevención, control o mitigación definidas para cada caso.
- Verificar la existencia de superposiciones, restricciones o afectaciones sobre el área del proyecto mediante la consulta de la plataforma ANNA Minería y demás herramientas oficiales disponibles.
- Contrastar la información cartográfica del proyecto con los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes (POT, PBOT o EOT), con el fin de identificar condicionantes o restricciones para el desarrollo de la actividad minera.

- Actualizar periódicamente la cartografía minera para incorporar las modificaciones derivadas del avance de las labores subterráneas, los cambios en el diseño de explotación o cualquier otra variación que pueda afectar el planeamiento minero.

3.4.4. Cartografía ambiental

La cartografía ambiental constituye un componente esencial del planeamiento minero, ya que permite identificar y representar las condiciones ambientales del área de influencia del proyecto, así como las restricciones, determinantes y elementos que deben considerarse para el desarrollo sostenible de la actividad minera. Su adecuada integración facilita la evaluación de los impactos ambientales, la planificación de las medidas de manejo y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

En las operaciones de pequeña escala desarrolladas bajo las figuras de formalización minera previstas en la Ley 685 de 2001, la Ley 2250 de 2022 y el Decreto 977 de 2024, la información geográfica ambiental debe incorporarse desde las etapas iniciales del planeamiento minero, de manera que sirva como soporte para el diseño, la operación y la gestión ambiental del proyecto.

La **Tabla 3-10** presenta los elementos cartográficos ambientales mínimos recomendados como buena práctica para el planeamiento minero en operaciones de pequeña escala bajo figuras de formalización.

Tabla 3-10

Elementos cartográficos ambientales

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.



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

Buenas prácticas técnicas

Como buena práctica técnica, se recomienda:

- Delimitar cartográficamente las zonas de exclusión, restricción y demás áreas ambientalmente sensibles que puedan condicionar el desarrollo de la actividad minera.
- Utilizar información proveniente de fuentes oficiales, tales como la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Parques Nacionales Naturales de Colombia y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), según corresponda.
- Registrar la fecha de consulta o descarga de la información geográfica utilizada, con el fin de garantizar la trazabilidad y vigencia de los insumos cartográficos.
- Incorporar una tabla de superposición que identifique las áreas de traslape, indicando su extensión (ha) y el porcentaje de superposición respecto del área del proyecto.
- Cuando se identifiquen superposiciones con determinantes ambientales o áreas sujetas a restricciones, evaluar su incidencia sobre el proyecto y definir las medidas de manejo correspondientes o, cuando aplique, las limitaciones para el desarrollo de la actividad minera conforme al marco normativo vigente.
- Para la representación de la cobertura y uso del suelo, utilizar la metodología **CORINE Land Cover adaptada para Colombia**, de acuerdo con los lineamientos oficiales vigentes.
- Verificar y complementar la información cartográfica mediante el análisis de imágenes satelitales u otras herramientas de percepción remota que permitan validar las condiciones actuales del territorio.

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

La información geográfica deberá entregarse, cuando corresponda, conforme al **Modelo de Datos**



Geográficos (MDG) de la Agencia Nacional de Minería (ANM), utilizando bases de datos geográficas (**Geodatabase – GDB**) o archivos **Shapefile (.shp)**, según los requisitos técnicos vigentes. La GDB permite organizar, administrar e integrar la información espacial y sus atributos de manera estructurada.

Los objetos y capas geográficas requeridos dependerán del mineral, la etapa del proyecto y los lineamientos establecidos por la ANM. La **Figura 3-8** presenta un ejemplo de la estructura de objetos y capas geográficas del MDG.

Figura 3-8

Ejemplo de obligatoriedad de objetos o capas geográficas del MDG

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

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

Buena práctica técnica

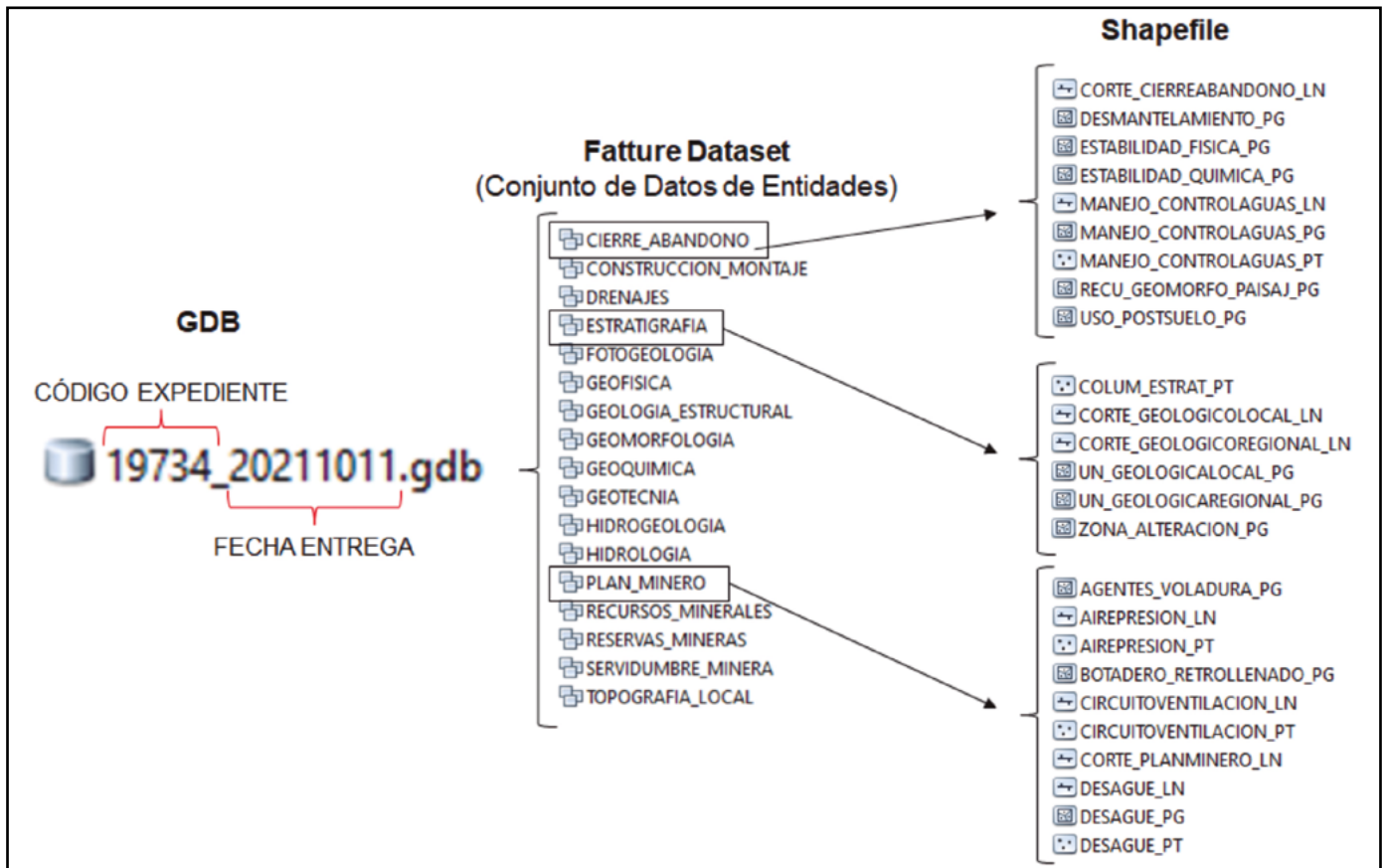
1. Utilizar la Geodatabase (GDB) oficial de la ANM correspondiente al Modelo de Datos Geográficos ANM – Versión 2, disponible en Información geográfica de la ANM.
2. Justificar técnicamente la no aplicación de cualquier objeto o capa geográfica obligatoria.
3. Evitar la entrega de capas vacías sin la correspondiente justificación técnica.
4. Incorporar los metadatos completos de la información geográfica conforme a las especificaciones vigentes.

Para la entrega de la información, la Geodatabase (GDB) deberá nombrarse de acuerdo con el código del expediente minero y la fecha de entrega (AAAA/MM/DD), con el fin de garantizar su identificación, trazabilidad y adecuada gestión documental. La Figura 3-9 presenta un ejemplo de la estructura de almacenamiento recomendada para la organización de la información geográfica.



Figura 3-9

Ejemplo de estructura de almacenamiento de la Geodatabase (GDB)



3.6. Entrega de información al Banco de Información Minera (BIM) del SGC

Una vez aprobado el documento técnico por la ANM, el titular minero deberá entregar al Banco de Información Minera (BIM) del Servicio Geológico Colombiano (SGC) la información geológica generada durante el desarrollo del proyecto, de conformidad con la Resolución 100 de 2020 y las disposiciones vigentes. La entrega deberá realizarse mediante la Lista de Entrega de Información (LEI), siguiendo las especificaciones establecidas en el Manual de Suministro y Entrega de la Información Geológica.

Buena práctica técnica:

1. Verificar que la información geológica se encuentre completa, organizada y debidamente georreferenciada antes de su entrega.
2. Validar el cumplimiento de los formatos y especificaciones técnicas definidos por el SGC.
3. Conservar copia de la información entregada y del respectivo soporte de radicación.

3.7. Reconciliación de recursos y reservas minerales

La reconciliación de recursos y reservas minerales constituye un proceso de control técnico mediante el cual se comparan las estimaciones del modelo geológico y del planeamiento minero con los resultados obtenidos durante la explotación. Este proceso permite evaluar la confiabilidad de las estimaciones, identificar desviaciones y fortalecer el mejoramiento continuo del planeamiento minero.



Su aplicación dependerá del instrumento técnico aprobado por la autoridad minera:

1. Títulos mineros con Programa de Trabajos y Obras (PTO) aprobado bajo el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas Minerales (ECRR–CRIRSCO): deberán realizar la reconciliación de recursos y reservas conforme a la normativa vigente.
1. Operaciones bajo figuras de formalización con instrumento técnico aprobado: mientras se mantengan bajo dicho instrumento, no estarán obligadas a presentar la reconciliación bajo el estándar ECRR–CRIRSCO. Esta obligación surgirá una vez sea aprobado el PTO bajo dicho estándar, en los términos establecidos por la normativa aplicable.

En consecuencia, la obligación de presentar la reconciliación está determinada por la aprobación del instrumento técnico bajo el estándar ECRR–CRIRSCO y no únicamente por la existencia del título minero.

La **Figura 3-10** presenta el formulario de reconciliación de recursos y reservas mineras, utilizado como herramienta para el seguimiento técnico y la verificación de las estimaciones bajo el estándar ECRR–CRIRSCO.

Figura 3-10

Formulario de reconciliación de recursos minerales

Buena práctica técnica

Aunque el instrumento técnico aprobado no exija de manera inmediata la reconciliación bajo el estándar CRIRSCO, implementar controles periódicos de producción, actualización del avance de las labores mineras y seguimiento de los volúmenes extraídos, con el fin de facilitar la futura reconciliación de recursos y reservas.

Una vez aprobado el instrumento técnico bajo el estándar CRIRSCO, elaborar y presentar la reconciliación anual de recursos y reservas conforme a los lineamientos establecidos por la Agencia Nacional de Minería (ANM), utilizando el Instructivo para presentar la actualización o reconciliación anual de recursos y reservas mineras (Versión 2, Bogotá, 2023).

 AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA FORMULARIO DE RECONCILIACIÓN DE RECURSOS MINERALES															
R1 Período Reportado		Ciclo estimado		Desde	0/01/1900	Hasta	0/01/1900								
INFORMACIÓN GENERAL															
R2 Expediente Minero					R5 Fecha terminación				R3 Etapa						
R4 Fecha inscripción															
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 documento técnico			
R20 Estándar CRIRSCO								R21 Fecha de corte de datos de la estimación				R19 Fecha aprobación última reconciliación			
GRUPO MINERAL, MINERALES Y VARIABLES DE CALIDAD ASOCIADAS															
R22 Grupo mineral		Polimetálicos													
R23 Mineral concesión (aprobado en DT)		R24 Mineral aprobado 1		hierro		R25 Mineral aprobado 2				R26 Mineral aprobado 3		R27 Mineral aprobado 4			
R28 Variables de calidad / tenor		R29 Variable 1				R30 Variable 2				R31 Variable 3		R32 Variable 4			
R33 Base del reporte ("Carbones)															
ESTIMACIÓN DE RECURSOS BASE / RECONCILIACIÓN															
R34 Tipo dominio		R35 Dominio de estimación				R36 Recursos Medidos				R37 Recursos Indicados				R38 Recursos Inferidos	
Tipo mineralizado		Toneladas		300.00										Observaciones	





4. CARACTERIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS OPERACIONES MINERAS, EVALUACIÓN DEL YACIMIENTO, MODELAMIENTO GEOLÓGICO, ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS, Y DEFINICIÓN DEL SISTEMA Y MÉTODO DE EXPLOTACIÓN



4.1. Caracterización y descripción general de las operaciones mineras

La caracterización de la operación minera constituye la base para el planeamiento técnico de las operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico, al integrar la información geológica, minera y operativa necesaria para comprender las condiciones bajo las cuales se desarrollará la explotación del yacimiento. Esta etapa reúne aspectos relacionados con las características de los mantos de carbón, las condiciones geológicas, estructurales e hidrogeológicas, el método de explotación previsto y la infraestructura requerida para garantizar una operación técnica, segura y sostenible.

En las operaciones de pequeña escala, la caracterización tiene como propósito establecer los criterios técnicos mínimos que orienten la planificación de la explotación, considerando factores como la continuidad y espesor de los mantos, la calidad del

carbón, las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, la infraestructura existente y las restricciones que puedan influir en el desarrollo de las labores mineras.

La información obtenida durante esta etapa constituye el soporte para la evaluación del yacimiento, el modelamiento geológico, la estimación de recursos y reservas minerales, la selección del sistema y método de explotación y la formulación del Programa de Trabajos y Obras (PTO), proporcionando los insumos técnicos necesarios para la toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto minero.

La **Tabla 4-1** presenta el esquema general de la caracterización de la operación minera y su relación con las principales etapas del planeamiento minero.

Tabla 4-1

Esquema general de la caracterización de la operación minera

Componente	Descripción
Socioeconómico	La pequeña minería de carbón metalúrgico se desarrolla principalmente en cuencas carboníferas con tradición minera y conocimiento histórico del recurso. La actividad constituye una fuente de empleo e ingresos para las comunidades rurales, donde la mano de obra suele presentar niveles variables de cualificación y limitadas oportunidades laborales. En algunos territorios, el desarrollo de explotaciones informales está asociado a la demanda del mercado y a procesos de acceso limitado a la formalización minera.
Geográfico y cartográfico	Las operaciones suelen localizarse en áreas con potencial geológico conocido, soportadas en afloramientos, información técnica disponible y antecedentes de explotación. La delimitación del proyecto requiere cartografía actualizada y georreferenciada que respalde el planeamiento minero.
Clasificación del proyecto minero	La clasificación de la explotación se establece de acuerdo con los criterios definidos en la normativa vigente, considerando variables como la producción anual y el área del proyecto minero. <i>(Aquí se mantiene la tabla de producción y hectáreas).</i>
Operaciones mineras	Las operaciones subterráneas comprenden las etapas de desarrollo, preparación, explotación, transporte, ventilación, desagüe, arranque del carbón, beneficio y cierre y abandono, las cuales deben ejecutarse conforme a criterios técnicos, de seguridad minera y de sostenibilidad.
Condiciones de seguridad	Las explotaciones de carbón metalúrgico están expuestas a riesgos asociados a la presencia de gases, inestabilidad del macizo rocoso, inundaciones, material particulado y operación de equipos. La planificación de la operación debe incorporar medidas de prevención, monitoreo y control para proteger la vida, la salud de los trabajadores y la continuidad de la explotación.

considerarse durante la caracterización de una operación de pequeña minería de carbón metalúrgico. El análisis integrado de estos elementos permite establecer las condiciones técnicas, operativas y de seguridad del proyecto, constituyendo la base para la evaluación del yacimiento, el modelamiento geológico, la estimación de recursos y reservas y la definición del sistema y método de explotación.



4.1.1. Componentes de la caracterización de la operación minera

La caracterización de la operación minera integra la información técnica necesaria para comprender las condiciones bajo las cuales se desarrollará la explotación del yacimiento. Como mínimo, deberá considerar los componentes presentados en la **Tabla 4-2**, los cuales constituyen la base para la evaluación del yacimiento, el planeamiento minero y la definición del sistema y método de explotación.

Tabla 4-2
Componentes básicos de la caracterización de la operación minera

Componente	Descripción	Finalidad
Tipo de explotación	Identificación de la modalidad de explotación prevista para el yacimiento de carbón, de acuerdo con sus características geológicas y geométricas.	Definir las condiciones generales del proyecto y orientar el planeamiento minero.
Material explotado	Caracterización general del carbón metalúrgico, incluyendo las principales características geológicas de los mantos objeto de explotación.	Establecer las condiciones geológicas que servirán de base para la evaluación del yacimiento y el diseño minero.
Escala de la operación	Clasificación de la operación minera conforme a la normativa vigente para pequeña minería.	Definir el alcance y el nivel de detalle de los estudios técnicos requeridos.
Método de explotación	Selección preliminar del método de explotación considerando la geometría del yacimiento, las condiciones geomecánicas y las características del carbón.	Orientar el diseño de las labores mineras y la secuencia de explotación.
Infraestructura básica	Identificación de los accesos, bocaminas o portales, vías internas, patios de acopio, sistemas de ventilación, drenaje y demás obras requeridas para la operación.	Verificar la viabilidad operativa y logística del proyecto.
Etapas de la operación minera	Descripción general de las principales fases de la operación, desde el desarrollo de las labores mineras hasta el cierre de la explotación.	Facilitar la planificación, ejecución y seguimiento de la operación minera.

La **Tabla 4-2** presenta los componentes mínimos que deben analizarse durante la caracterización de una operación de pequeña minería de carbón metalúrgico. La integración de estos elementos permite establecer las condiciones técnicas del proyecto y constituye el punto de partida para la evaluación del yacimiento, el modelamiento geológico, la estimación de recursos y reservas minerales y la definición del sistema y método de explotación.

4.1.2. Etapas generales de la operación minera

La operación minera en pequeña minería de carbón metalúrgico se desarrolla mediante una secuencia de actividades técnicas que integran la recopilación de información, la evaluación del yacimiento, el planeamiento de la explotación y el aprovecha-

miento del recurso mineral. Aunque las características específicas pueden variar según las condiciones del proyecto, de manera general comprende las siguientes etapas:

- Planeación y recopilación de la información existente.
- Evaluación geológica regional y local.
- Caracterización geológica del yacimiento y de los mantos de carbón.
- Exploración directa, muestreo y control de calidad de la información.
- Construcción y actualización del modelo geológico.
- Estimación preliminar de recursos y reservas.
- Selección del método de explotación.
- Diseño de mina y planeamiento operativo.
- Explotación, beneficio y control operacional.
- Cierre y recuperación de las áreas intervenidas.

Estas etapas se desarrollan de manera articulada y permiten que la información obtenida durante la ejecución de las labores mineras retroalimente el conocimiento del yacimiento, actualice el modelo geológico y contribuya al mejoramiento continuo del planeamiento minero.

4.1.3. Relación con el modelo geológico y la estimación de recursos y reservas

La caracterización de la operación minera constituye el punto de partida para el desarrollo del modelo geológico y la estimación de recursos y reservas minerales. La información obtenida durante la evaluación geológica, la exploración, el muestreo y la caracterización de los mantos de carbón permite representar las principales características del yacimiento, tales como su geometría, continuidad, espesor, calidad y comportamiento estructural.

Este conocimiento técnico constituye la base para la estimación de recursos y reservas, la selección del sistema y método de explotación, el diseño de mina y la programación de las labores mineras, favoreciendo una adecuada planificación y el aprovechamiento sostenible del recurso.

4.1.4. Resultado esperado

Al finalizar esta etapa se espera contar con una caracterización integral de la operación minera que incluya el tipo de explotación, las características del yacimiento y del carbón metalúrgico, la escala de la operación, el sistema y método de explotación preliminar, la infraestructura básica requerida y la secuencia general de desarrollo del proyecto. Esta información constituye la base para las etapas posteriores de evaluación del yacimiento, modelamiento geológico, estimación de recursos y reservas y diseño de mina.

La caracterización de la operación minera proporciona el contexto técnico necesario para compren-

der las condiciones del proyecto y establecer los criterios iniciales de planeamiento. A partir de esta información, el siguiente paso consiste en realizar la evaluación del yacimiento, proceso mediante el cual se analizan las características geológicas del depósito y se genera la información que servirá de base para el modelamiento geológico y la estimación de recursos y reservas minerales.

4.2. Evaluación geológica y modelamiento

4.2.1 Geología regional

La geología regional proporciona el contexto geológico en el que se ubica el yacimiento de carbón y constituye el punto de partida para la evaluación geológica del proyecto. A partir del análisis de la cartografía geológica oficial y de la información geocientífica disponible, se identifican las formaciones portadoras de carbón, la disposición de las unidades estratigráficas y las principales estructuras geológicas que controlan la geometría, continuidad e inclinación de los mantos.

En las operaciones de pequeña minería, este análisis permite comprender el comportamiento regional del depósito, reducir la incertidumbre durante las etapas de exploración y establecer las bases para la evaluación geológica local y el posterior modelamiento geológico.

Entre sus principales objetivos se encuentran:

- Ubicar el proyecto dentro de la cuenca carbonífera correspondiente.
- Identificar las unidades geológicas portadoras de carbón.
- Reconocer las principales estructuras geológicas que condicionan la geometría y continuidad de los mantos.
- Proporcionar información de referencia para la evaluación geológica local.



Para ello, la evaluación regional integra el análisis de los siguientes componentes:

- Unidades estratigráficas portadoras de carbón.
- Marco estructural regional.
- Condiciones geomorfológicas que influyen en la exposición de los mantos.
- Procesos geológicos responsables de la configuración actual del depósito.

La **Figura 4-1** resume los principales aspectos que deben evaluarse durante la caracterización geológica regional como base para la evaluación geológica local y el desarrollo del modelo geológico.

Figura 4-1

Aspectos evaluados en la geología regional.



4.2.1.1. Alcance en pequeña minería

En las operaciones de pequeña minería, la evaluación geológica regional debe fundamentarse en información geológica oficial, actualizada y de libre consulta, complementada con el análisis del contexto geológico y estructural del área de interés. Esta evaluación permite identificar las condiciones regionales que controlan la distribución de los mantos de carbón y constituye el punto de partida para la caracterización geológica local del yacimiento.

Como mínimo, deberán considerarse los aspectos presentados en la **Tabla 4-3**, los cuales proporcionan la información necesaria para orientar la evaluación geológica del proyecto y apoyar el modelamiento geológico y la estimación de recursos y reservas minerales.



Tabla 4-3

Alcance de la evaluación geológica regional en pequeña minería

Aspecto	Alcance técnico
Cartografía oficial	Basarse en cartografía geológica oficial del Servicio Geológico Colombiano (SGC), en escalas entre 1:25.000 y 1:100.000, según disponibilidad
Unidades portadoras	Identificar las formaciones sedimentarias portadoras de carbón.
Estructuras regionales	Reconocer las principales estructuras regionales que influyen en la continuidad y disposición estructural del manto.
Relación estratigráfica	Analizar la relación entre las unidades estratigráficas y la distribución regional del carbón.

La evaluación regional proporciona una visión general del área y orienta el desarrollo de la geología local. Las fuentes oficiales recomendadas para la geología regional se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4-4

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.



4.2.1.2. Componentes de la geología regional

La evaluación geológica regional integra un conjunto de componentes que permiten comprender el contexto geológico del área de estudio y la distribución de los mantos de carbón. El análisis de estos elementos facilita la interpretación de las condiciones estratigráficas, estructurales y geomorfológicas que influyen en la continuidad y geometría del yacimiento.

Los principales componentes que deben considerarse durante esta etapa se presentan en la **Tabla 4-5**.

Tabla 45
Componentes de la evaluación regional del carbón y su aplicabilidad en pequeña minería

Componente	Descripción en carbón	Propósito en pequeña minería
Litología regional	Identificación de las unidades sedimentarias que conforman la cuenca carbonífera y de las formaciones que contienen los mantos de carbón.	Reconocer la formación portadora y comprender la disposición general de las capas asociadas al carbón.
Marco estructural	Análisis de fallas, pliegues y lineamientos regionales que influyen en la inclinación y continuidad del manto.	Anticipar variaciones en espesor, desplazamientos o cambios en la geometría del depósito.
Geomorfología regional	Evaluación del relieve y procesos superficiales que condicionan la exposición o cobertura del manto.	Identificar sectores favorables para observación directa y planificación de trabajos posteriores.
Evolución geológica	Interpretación de los procesos sedimentarios y tectónicos que explican la configuración actual del depósito.	Comprender el origen y comportamiento regional del carbón antes de avanzar al análisis local.

Con base en estos componentes, la evaluación geológica regional puede desarrollarse mediante una secuencia de actividades que orienta la recopilación, organización e interpretación de la información geológica disponible. Este procedimiento facilita el análisis de la cartografía oficial, la integración de la información geocientífica y la verificación preliminar de campo como apoyo a la evaluación geológica del proyecto.

La **Tabla 4-6** presenta la secuencia metodológica recomendada para la evaluación de la geología regional en proyectos de pequeña minería de carbón

Tabla 4-6
Secuencia metodológica para la evaluación de la geología regional en proyectos de pequeña minería de carbón Protocolo práctico para Geología Regional

Paso	Descripción
Paso 1. Consolidación de información oficial	• Consultar la cartografía geológica oficial del Servicio Geológico Colombiano (SGC), preferiblemente a escalas entre 1:25.000 y 1:100.000. • Identificar la cuenca carbonífera donde se localiza el proyecto. • Verificar la formación geológica portadora de carbón. • Revisar la memoria explicativa, la escala y la fecha de elaboración de la cartografía.
Paso 2. Integración cartográfica en SIG	• Incorporar el área del proyecto en el Sistema de Información Geográfica (SIG). • Superponer la cartografía geológica, estructural y demás información temática disponible. • Integrar la red de drenaje y el modelo digital de elevación (MDE). • Delimitar las unidades geológicas presentes en el área del proyecto.



Paso 3. Identificación estratigráfica preliminar	• Identificar las unidades estratigráficas portadoras de carbón. • Ubicar los mantos de carbón dentro de la secuencia estratigráfica. • Evaluar su continuidad regional.
Paso 4. Análisis estructural regional	• Identificar fallas, pliegues y demás estructuras geológicas regionales. • Determinar la orientación general de los mantos (rumbo y buzamiento). • Analizar la influencia de las estructuras sobre la continuidad del depósito.
Paso 5. Interpretación geológica preliminar	• Confirmar la presencia de las formaciones portadoras de carbón dentro del área del proyecto. • Evaluar la continuidad geológica y estructural del yacimiento. • Identificar sectores con mayor potencial geológico para orientar las etapas posteriores de evaluación.
Paso 6. Verificación preliminar en campo (cuando aplique)	• Verificar en campo la presencia de afloramientos de carbón o de las unidades geológicas asociadas. • Corroborar la correspondencia entre la cartografía y las condiciones observadas en terreno. • Registrar evidencia fotográfica georreferenciada y observaciones de campo relevantes.

Matriz de priorización regional

La matriz de priorización regional constituye una herramienta de apoyo para el análisis e integración de la información geológica disponible durante la evaluación regional del proyecto. Su aplicación permite comparar diferentes sectores del área de interés a partir de criterios geológicos, estructurales y geomorfológicos, facilitando la identificación preliminar de las zonas con mayor potencial para

las etapas posteriores de exploración y evaluación geológica local.

La **Tabla 4-7** presenta un ejemplo de matriz de priorización regional, la cual puede adaptarse a las características particulares de cada proyecto y utilizarse como apoyo en la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

Tabla 4-7

Matriz de priorización regional

Zona evaluada	Formación geológica portadora de carbón	Antecedentes regionales de presencia de mantos	Marco estructural regional	Condición geomorfológica y de cobertura	Prioridad para evaluación local
Zona 1	Formación carbonífera cartografiada y confirmada	Registros regionales o explotaciones cercanas documentadas	Zona sin fallas regionales mayores identificadas	Relieve que permite posible exposición o baja cobertura superficial	Priorizar evaluación local
Zona 2	Formación probable según cartografía regional	Reportes aislados o información parcial	Presencia de fallas regionales cercanas o pliegues amplios	Cobertura parcial o relieve que dificulta observación directa	Requiere verificación adicional
Zona 3	Formación no claramente identificada	Sin antecedentes técnicos confirmados	Zona afectada por estructuras regionales mayores	Sector cubierto por depósitos recientes o alta incertidumbre superficial	No prioritaria en esta etapa



Interpretación de la matriz de priorización regional
La matriz de priorización regional integra los principales criterios utilizados para comparar los sectores del área de estudio y orientar la selección de las zonas que serán objeto de evaluación geológica local. La interpretación de cada columna se presenta a continuación:

- **Formación geológica portadora de carbón:** verifica si la unidad geológica cartografiada corresponde a una formación reconocida por contener mantos de carbón. Por ejemplo, una formación carbonífera identificada en la cartografía oficial se considera una condición favorable, mientras que una unidad sin registros de carbón requiere verificación adicional.
- **Antecedentes regionales de presencia de mantos:** considera la existencia de explotaciones mineras cercanas, estudios geológicos, reportes técnicos o registros históricos que evidencien la presencia de carbón en el área de interés.
- **Marco estructural regional:** evalúa la influencia de fallas, pliegues y demás estructuras geológicas sobre la continuidad, geometría y posible desplazamiento de los mantos de carbón.
- **Condición geomorfológica y de cobertura:** analiza si el relieve, la cobertura superficial

y las condiciones de exposición favorecen la identificación de los mantos o, por el contrario, incrementan la incertidumbre debido a la presencia de depósitos recientes o cobertura vegetal densa.

- **Prioridad para la evaluación geológica local:** corresponde a la valoración integral de los criterios anteriores y permite definir los sectores que presentan mejores condiciones para iniciar la evaluación geológica detallada y las actividades de campo.

Lista de chequeo de la geología regional

Como complemento de la matriz de priorización, se recomienda verificar que la evaluación geológica regional cuente con la información mínima requerida antes de avanzar a la caracterización geológica local. Esta revisión permite identificar vacíos de información, fortalecer la confiabilidad del análisis regional y orientar los recursos técnicos hacia los sectores con mayor potencial geológico.

La **Tabla 4-8** presenta una lista de chequeo con los principales aspectos que deben verificarse para considerar técnicamente finalizada la evaluación geológica regional.

Tabla 4-8
Lista de chequeo para la evaluación geológica regional

Aspecto por verificar	Sí	No
El proyecto se encuentra ubicado dentro de una cuenca carbonífera identificada.	☐	☐
Se identificó la formación geológica portadora de carbón en el área de estudio.	☐	☐
Se consultó la cartografía geológica oficial del Servicio Geológico Colombiano (SGC) u otras fuentes oficiales.	☐	☐
Se identificaron las unidades estratigráficas presentes en el área del proyecto.	☐	☐
Se reconocieron las principales estructuras geológicas regionales (fallas, pliegues y otros elementos estructurales).	☐	☐
Se interpretó la relación estratigráfica de los mantos de carbón dentro del contexto geológico regional.	☐	☐
Se integró la información cartográfica en un Sistema de Información Geográfica (SIG).	☐	☐
Se elaboró la matriz de priorización regional para identificar los sectores de mayor potencial geológico.	☐	☐
Se definieron los sectores prioritarios para la evaluación geológica local.	☐	☐
Cuando fue necesario, se realizó una verificación preliminar en campo para validar la interpretación regional.	☐	☐



4.2.1.3. Recomendaciones

Con el fin de asegurar que la evaluación geológica regional proporcione información confiable para las etapas posteriores del planeamiento minero, se recomienda considerar los criterios presentados en la **Tabla 4-9**.

Tabla 4-9
Recomendaciones para la geología regional



Aspecto	Recomendación
Cartografía geológica	Utilizar cartografía geológica oficial vigente, indicando la fuente, escala, fecha de elaboración y sistema de referencia geográfica de la información consultada.
Verificación en campo	Corroborar, cuando aplique, la correspondencia entre la cartografía geológica y las condiciones observadas en campo.
Litología regional	Identificar las unidades geológicas portadoras de carbón y su relación estratigráfica dentro del contexto regional.
Contexto estructural	Reconocer las principales estructuras geológicas regionales que puedan influir en la continuidad, geometría o desplazamiento de los mantos de carbón.
Priorización de sectores	Definir las áreas prioritarias para la evaluación geológica local con base en la integración de la información geológica, estructural y geomorfológica.

La aplicación de estas recomendaciones fortalece la confiabilidad de la evaluación geológica regional y proporciona una base técnica para la caracterización geológica local, el modelamiento geológico y las etapas posteriores del planeamiento minero.

Ejemplo de aplicación

En un proyecto ubicado dentro de una cuenca carbonífera, la cartografía geológica regional indica que los mantos de carbón se encuentran asociados a una secuencia de areniscas y lutitas afectadas por pliegues de amplia extensión. Este contexto sugiere que los mantos pueden mantener continuidad en determinados sectores, aunque también presentar variaciones en su inclinación debido a la deformación estructural. Adicionalmente, se identifica una falla regional que podría generar desplazamientos locales de los mantos.

Con base en esta información, la evaluación geológica local se orienta inicialmente hacia los sectores donde la interpretación estructural indica una mayor

probabilidad de continuidad del carbón, mientras que las áreas próximas a la falla se priorizan para una evaluación posterior, debido a la mayor incertidumbre asociada a la geometría del yacimiento.

Esta estrategia permite optimizar el trabajo de campo y la asignación de recursos técnicos, concentrando las actividades de exploración en las zonas con mayor potencial geológico antes de avanzar hacia etapas de exploración más detalladas.

La **Figura 4-2** presenta un ejemplo de un afloramiento regional en el que se observan los principales elementos geológicos utilizados para la interpretación del contexto geológico de un yacimiento de carbón. En la imagen se identifican una secuencia sedimentaria conformada por areniscas y lutitas portadoras de carbón, un pliegue anticlinal regional, un manto de carbón y una falla regional, estructuras que controlan la geometría, continuidad y disposición espacial del depósito.



Figura 4-2

Ejemplo ilustrativo de un afloramiento regional correspondiente a una secuencia sedimentaria portadora de carbón



La interpretación de estos elementos permite comprender el comportamiento geológico regional del yacimiento y constituye un insumo fundamental para la evaluación geológica local, el modelamiento geológico y la estimación de recursos y reservas minerales.

Como complemento de esta evaluación, se recomienda consultar la cartografía geológica oficial del Servicio Geológico Colombiano (SGC), disponible en el Visor de Cartografía Geocientífica del SGC. Esta herramienta permite acceder a la cartografía geológica en diferentes escalas, entre ellas 1:25.000 y 1:100.000, así como a las memorias explicativas asociadas.

Para realizar la consulta se recomienda:

1. Seleccionar la escala cartográfica de acuerdo con el nivel de detalle requerido.
2. Ubicar la plancha geológica correspondiente al área del proyecto.
3. Revisar la cartografía geológica y su memoria explicativa para identificar las unidades estratigráficas, las estructuras geológicas y demás elementos relevantes para la evaluación regional.



4.2.2. Geología local

La geología local comprende el análisis detallado de los mantos de carbón dentro del área específica del proyecto y constituye la etapa en la que se caracteriza el yacimiento a partir de observaciones directas de campo. Su propósito es definir con mayor precisión la geometría de los mantos, su espesor, inclinación, continuidad lateral y las condiciones estructurales que pueden influir en la explotación. Esta evaluación se fundamenta en el levantamiento geológico de campo, la observación de afloramientos, la medición de rumbo y buzamiento, y la descripción de los contactos entre el techo, el manto y el piso del carbón. La información obtenida permite validar la interpretación regional y reducir la incertidumbre sobre las condiciones geológicas del depósito.

Como mínimo, la geología local comprende el análisis de los siguientes aspectos:

- Delimitación del área con potencial para la explotación del manto de carbón.
- Verificación en campo de la continuidad geológica identificada durante la evaluación regional.
- Identificación de variaciones locales en el espesor, inclinación y continuidad de los mantos.
- Reconocimiento de fallas, pliegues y demás discontinuidades que puedan afectar la explotación.
- Descripción de la litología asociada al techo, piso e intercalaciones del carbón.

La información generada durante esta etapa constituye la base para la caracterización del yacimiento, el desarrollo del modelo geológico y la estimación de recursos y reservas minerales. La **Figura 4-3** presenta los principales aspectos que deben evaluarse durante la geología local.

Figura 4-3

Aspectos evaluados en la geología local



4.2.2.1. Alcance de la geología local en pequeña minería

En las operaciones de pequeña minería, la geología local tiene como alcance caracterizar las condiciones geológicas del yacimiento mediante el levantamiento sistemático de información en campo. Esta etapa permite validar la interpretación obtenida durante la evaluación regional y definir con mayor precisión las características del manto de carbón que servirán de base para el modelamiento geológico y la estimación de recursos y reservas.

Para ello, el levantamiento geológico deberá realizarse de manera sistemática y documentada, considerando como mínimo los aspectos presentados en la **Tabla 4-10**.



Tabla 4-10
Alcance de la evaluación geológica local en pequeña minería

Aspecto del levantamiento	Alcance técnico
Cartografía geológica	Elaborar cartografía geológica detallada del área del proyecto (escala cercana a 1:1.000 o equivalente, según la extensión del área evaluada)
Levantamiento en campo	Basarse en observación directa y georreferenciación precisa de los puntos evaluados
Orientación del manto	Registrar rumbo e inclinación del manto de carbón
Espesor del manto	Medir el espesor real del carbón en los sectores donde sea posible
Techo y piso	Describir las rocas que conforman el techo y el piso, incluyendo posibles intercalaciones
Estructuras geológicas	Identificar fallas, pliegues u otras estructuras que puedan afectar la continuidad o geometría del manto
Representación gráfica	Elaborar perfiles o cortes geológicos representativos



Se requiere un levantamiento sistemático y documentado que permita sustentar técnicamente la forma, continuidad y condiciones del manto evaluado.

4.2.2.2.Componentes de la geología local

Una vez definido el alcance de la evaluación geológica local, es necesario analizar los componentes que permiten caracterizar el yacimiento dentro del área del proyecto. Estos elementos proporcionan la información requerida para describir la geometría, continuidad y condiciones geológicas de los mantos de carbón, así como las estructuras que pueden influir en su explotación.

Los principales componentes de la geología local se presentan en la **Tabla 4-11**.



Tabla 4-11

Componentes de la geología local en pequeña minería

Componente geológico	Descripción breve	Aplicación en pequeña minería
Geometría del manto	Observación directa de la forma, extensión y límites del manto de carbón en el área del proyecto, a partir de un levantamiento geológico local georreferenciado elaborado a escala aproximada de 1:1.000 o más detallada.	Permite delimitar con mayor precisión el área potencialmente explotable y sustentar técnicamente la información levantada.
Estratigrafía local	Descripción del manto, techo y piso, incluyendo medición del espesor del carbón y presencia de intercalaciones.	Permite evaluar la continuidad del manto y las variaciones del espesor del carbón explotable.
Relación geomorfológica	Análisis de la relación entre el relieve, la cobertura superficial y la exposición del manto en el área intervenida.	Permite identificar sectores donde el manto puede estar expuesto, cubierto o afectado por procesos superficiales.
Condiciones estructurales	Registro de la inclinación del manto y presencia de fallas, pliegues o fracturas que puedan afectar su continuidad.	Permite explicar cambios en espesor, inclinación o desplazamientos del manto durante la explotación.

La siguiente herramienta orienta la planeación de la evaluación geológica local. Su propósito es definir las actividades necesarias para recopilar, registrar e interpretar la información geológica del área de estudio, con el fin de caracterizar las unidades geológicas presentes, elaborar los perfiles estratigráficos y obtener la información requerida para la delimitación preliminar del yacimiento y las etapas posteriores del planeamiento minero, como se presenta en la **Tabla 4-12**.

Tabla 4-12

Protocolo práctico para geología local

Etapas	Actividades
Etapas 1. Preparación del levantamiento	- Definir los sectores prioritarios. - Preparar la cartografía base (≈1:1.000). - Configurar el sistema de referencia y los equipos de campo.
Etapas 2. Reconocimiento geológico en campo	- Recorrer sistemáticamente el área. - Identificar afloramientos, labores y frentes. - Seleccionar los puntos de observación representativos.
Etapas 3. Caracterización del manto	- Medir el espesor bruto y útil del manto. - Registrar rumbo y buzamiento. - Describir la litología del techo, piso e intercalaciones.
Etapas 4. Elaboración de perfiles estratigráficos	- Levantar perfiles estratigráficos representativos. - Medir espesores por capas cuando aplique. - Representar la secuencia techo–manto–piso.



Etapas 5. Georreferenciación y registro	• Georreferenciar cada punto de observación. • Registrar evidencia fotográfica. • Codificar los puntos y perfiles levantados.
Etapas 6. Interpretación preliminar	• Integrar la información obtenida. • Delimitar preliminarmente los mantos. • Identificar sectores que requieran verificación adicional.

Formato básico de registro de punto geológico

El registro sistemático de la información obtenida durante el levantamiento geológico local constituye un insumo fundamental para la caracterización del yacimiento. La documentación organizada de las observaciones de campo permite garantizar la trazabilidad de la información, facilitar su verificación e integrar los datos en las etapas posteriores de interpretación geológica.

La **Tabla 4-13** presenta un formato básico para el registro de puntos geológicos, el cual puede adaptarse a las características y necesidades de cada proyecto. La información recopilada mediante este formato sirve de apoyo para la delimitación de sectores con características geológicas homogéneas, el desarrollo del modelo geológico y la estimación de recursos y reservas minerales.

Tabla 4-13
Formato básico para el registro de información geológica local

Punto	Coordenadas	Espesor bruto (m)	Espesor útil (m)	Intercalaciones (espesor y ubicación)	Litología techo/piso	Rumbo (°)	Buzamiento (°)	Observación
PC-01	5.1234 N / -73.4567 W	1,9	1,6	0,30 m lutita (nivel medio)	Techo: lutita / Piso: arenisca	045°	18° SE	Buena continuidad lateral
PC-02	5.1248 N / -73.4559 W	1,5	1,2	0,30 m arcilla (base del manto)	Techo: lutita carbonosa / Piso: arenisca fina	050°	22° SE	Variación lateral del espesor
PC-03	5.1260 N / -73.4545 W	2,1	1,4	Varias intercalaciones delgadas (superior e intermedia)	Techo: lutita / Piso: arenisca	047°	20° SE	Fracturamiento leve



Interpretación de los campos del formato de registro geológico

El formato de registro geológico reúne la información mínima requerida para documentar las observaciones realizadas durante el levantamiento geológico local. Cada uno de sus campos aporta información para la caracterización del yacimiento y constituye un insumo para el modelamiento geológico, la estimación de recursos y reservas y el planeamiento de la explotación.

A continuación, se describe la finalidad de cada uno de los campos del formato:

Punto: código único asignado a cada estación o punto de observación durante el trabajo de campo. Su identificación permite relacionar la información geológica con fotografías, perfiles estratigráficos y registros cartográficos.

Coordenadas: ubicación geográfica del punto de observación obtenida mediante equipos de posicionamiento. Esta información garantiza la trazabilidad de los datos y facilita su localización y verificación posterior.

Espesor bruto: espesor total del manto de carbón observado, incluyendo las intercalaciones presentes dentro de la secuencia.

Espesor útil: espesor del carbón potencialmente aprovechable, determinado una vez se descuentan los niveles estériles o las intercalaciones no explotables. Este parámetro constituye un insumo para la estimación de recursos y reservas.

Intercalaciones (espesor y ubicación): registro del espesor y de la posición aproximada de los niveles de lutita, arcillolita, limolita, arenisca u otros materiales presentes dentro del manto, indicando si se localizan en la parte superior, intermedia o inferior. Esta información permite diferenciar el espesor

bruto del espesor útil.

Litología del techo y del piso: descripción de las unidades litológicas que limitan el manto de carbón. Su caracterización es importante para evaluar las condiciones geomecánicas y apoyar el diseño de las labores mineras.

Rumbo: orientación horizontal del manto de carbón, expresada mediante la dirección de su traza sobre un plano horizontal. Este dato es fundamental para la correlación geológica y el modelamiento estructural.

Buzamiento: ángulo e inclinación del manto respecto al plano horizontal. Su determinación es esencial para el modelamiento geológico y la selección del sistema y método de explotación.

Observaciones: registro de aspectos relevantes identificados durante el levantamiento, como continuidad del manto, presencia de fallas, fracturamiento, alteración, humedad u otras condiciones que puedan influir en la interpretación geológica o en la explotación.

La geología local se fundamenta en la observación directa de los mantos de carbón mediante afloramientos y labores mineras, permitiendo caracterizar su geometría, los contactos entre el techo, el manto y el piso, las intercalaciones y las estructuras geológicas que pueden afectar su continuidad y condiciones de explotación.

La **Figura 4-4** presenta ejemplos de observaciones realizadas durante el levantamiento geológico local en labores subterráneas.



Figura 4-4

Ejemplos de observaciones de geología local en mantos de carbón en labores subterráneas



La figura ilustra algunos de los principales elementos geológicos que pueden identificarse durante el reconocimiento de una labor minera subterránea, entre ellos el manto de carbón, el contacto entre el carbón y la roca encajante, las intercalaciones estériles (partings) y las estructuras geológicas, como fallas o fracturas. La identificación y el registro sistemático de estas características permiten mejorar el modelo geológico del yacimiento, evaluar la continuidad y calidad del manto, identificar condiciones que puedan afectar la estabilidad de las excavaciones y orientar la planificación de las labores de desarrollo, preparación y explotación. Asimismo, esta información constituye un insumo para la actualización del modelo geológico y la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

Lista de chequeo de la geología local

Como complemento del levantamiento geológico local, se recomienda verificar que la información recopilada sea suficiente para sustentar la caracterización del yacimiento y avanzar hacia el modelamiento geológico y la estimación de recursos y reservas. Esta revisión permite identificar posibles vacíos de información y garantizar que las observaciones de campo cuenten con el respaldo técnico necesario para la siguiente etapa del planeamiento minero.

La **Tabla 4-14** presenta una lista de chequeo con los principales aspectos que deben verificarse antes de considerar técnicamente finalizada la evaluación geológica local.



Tabla 4-14

Lista de chequeo para la evaluación geológica local

Aspecto por verificar	SÍ	NO
Espesor bruto del manto medido	☐	☐
Espesor útil calculado (sin intercalaciones estériles)	☐	☐
Intercalaciones estériles identificadas y registradas	☐	☐
Rumbo y buzamiento del manto medidos	☐	☐
Litología de techo y piso descrita	☐	☐
Puntos de observación georreferenciados	☐	☐
Perfiles o cortes geológicos elaborados	☐	☐
Estructuras geológicas locales identificadas (fallas, fracturas)	☐	☐
Puntos de observación georreferenciados	☐	☐
Registro fotográfico de afloramientos o frentes	☐	☐

4.2.2.3 Recomendaciones

Tabla 4-15

Recomendaciones para la geología

Aspecto	Recomendación técnica
Georreferenciación	Georreferenciar cada punto donde se observe o mida el manto
Orientación estructural	Medir rumbo y buzamiento del manto y verificar su coherencia con la información regional
Techo y piso	Describir claramente la litología del techo y del piso del manto
Espesor real	Medir el espesor real del carbón, diferenciándolo de intercalaciones estériles
Discontinuidades	Registrar fracturas, fallas o cambios de espesor que puedan afectar la continuidad del manto

La aplicación sistemática de estas recomendaciones permite que la interpretación local tenga sustento técnico y reduzca el riesgo de sobreestimaciones en etapas posteriores.



Ejemplo de buenas prácticas

En un frente de avance dentro de una galería subterránea se observa un manto de carbón con un espesor aproximado de 1,2 m. Las mediciones realizadas en el frente indican que el manto presenta inclinación moderada. A pocos metros del punto observado se identifica una fractura que genera un ligero desplazamiento del carbón, produciendo variaciones en el espesor visible.

A partir de estas observaciones se revisa la delimitación preliminar del área explotable y se verifica la continuidad del manto en labores cercanas antes de continuar con nuevos desarrollos.

Este análisis permite anticipar cambios en la geometría del manto y ajustar la planificación de la explotación, reduciendo la incertidumbre en el avance de las labores mineras.

duce un desplazamiento local del manto. Estas observaciones permiten verificar la continuidad del carbón, revisar la delimitación preliminar del yacimiento y apoyar la planificación de los nuevos desarrollos mineros.

4.2.3. Caracterización del depósito

La caracterización del depósito corresponde a la etapa en la que se integra y analiza la información geológica obtenida durante el levantamiento de campo, las labores de exploración y los ensayos de laboratorio, con el propósito de definir las principales características del manto de carbón y evaluar su potencial de aprovechamiento.

Este proceso permite comprender la geometría, continuidad, espesor y calidad del depósito, así como identificar las condiciones geológicas que pueden influir en la estimación de recursos y en el planeamiento de la explotación.

Figura 4-5

Ejemplo ilustrativo de la evaluación geológica de un frente de avance en una mina subterránea de carbón.



En las operaciones de pequeña minería, la caracterización del depósito tiene como objetivos:

- Identificar el espesor útil del manto, diferenciándolo del espesor bruto.
- Verificar la continuidad lateral y vertical del carbón entre los puntos de observación y las labores mineras.
- Identificar intercalaciones y otros materiales estériles que reduzcan el espesor aprovechable.

Reconocer variaciones en la calidad del carbón asociadas a cambios litológicos o estructurales del yacimiento.

Una caracterización desarrollada de manera sistemática proporciona una base técnica confiable para el modelamiento geológico, la estimación de recursos y reservas y la definición de estrategias de explotación acordes con las condiciones reales del depósito.

La **Figura 4-6** presenta los principales aspectos que deben evaluarse durante la caracterización del depósito.

4.2.3.1. Alcance en pequeña minería

En las operaciones de pequeña minería, la caracterización del depósito se fundamenta en la integración y el análisis de la información geológica disponible, considerando el nivel de exploración alcanzado y las condiciones particulares del proyecto. Este proceso no requiere programas avanzados de exploración, sino el aprovechamiento técnico de la información obtenida mediante el levantamiento geológico, las labores mineras, los muestreos y los resultados de laboratorio disponibles.

El alcance de la caracterización consiste en definir las principales características del depósito, evaluar la continuidad y el espesor de los mantos de carbón e identificar los factores geológicos que pueden influir en la estimación de recursos y en el planeamiento de la explotación.

Figura 4-6

Aspectos evaluados en la caracterización del depósito



Los aspectos que comprende la caracterización del depósito en pequeña minería se presentan en la **Tabla 4-16**.



Tabla 4-16
Alcance en la caracterización del yacimiento en pequeña minería

Aspecto considerado	Finalidad
Espesor del manto	Determinar el espesor real y diferenciar espesor bruto y espesor útil
Continuidad lateral	Verificar la conexión del carbón entre puntos evaluados
Intercalaciones estériles	Identificar capas que reduzcan el volumen aprovechable
Calidad del carbón	Analizar información básica de calidad cuando existan ensayos
Condiciones estructurales	Considerar fallas, fracturas u otras estructuras que afecten la extracción

Una vez establecido el alcance de la caracterización, es necesario integrar la información geológica, estructural y de calidad del carbón para obtener una comprensión integral del comportamiento del depósito. Esta integración permite sustentar técnicamente la estimación de recursos y apoyar la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

Los principales componentes que deben considerarse en la caracterización del depósito se presentan en la **Tabla 4-17**.

Tabla 4-17
Componentes de la caracterización del depósito

Componente	Descripción técnica	Aplicación en pequeña minería
Espesor útil del manto	Espesor real del carbón descontando intercalaciones estériles visibles.	Permite estimar volumen real aprovechable.
Continuidad del manto	Verificación de persistencia lateral del carbón entre puntos de control	Reduce incertidumbre en la estimación.
Intercalaciones estériles	Identificación y descripción de capas no aprovechables dentro del manto.	Permite diferenciar espesor bruto y espesor efectivo.
Calidad del carbón	Parámetros básicos disponibles (cenizas, humedad, azufre, poder calorífico).	Apoya decisiones comerciales y técnicas
Condiciones estructurales	Fallas, fracturas o deformaciones que afecten el manto.	Permite anticipar cambios de espesor o desplazamientos.



La siguiente herramienta orienta la planeación de la caracterización del yacimiento. Su propósito es definir las actividades necesarias para organizar e interpretar la información geológica disponible, con el fin de caracterizar los mantos de carbón, establecer su geometría, espesor y continuidad, y generar los insumos técnicos requeridos para las etapas posteriores de exploración, modelamiento geológico y planeamiento minero, como se presenta en la **Tabla 418**.

Matriz de priorización para la caracterización del depósito

Como apoyo a la caracterización del depósito, se recomienda consolidar la información geológica mediante una matriz que facilite la comparación objetiva de los diferentes sectores evaluados. Esta herramienta integra los principales criterios relacionados con la geometría, continuidad, espesor y calidad de los mantos de carbón, permitiendo identificar aquellas zonas que presentan mejores condiciones para sustentar la estimación de recursos y orientar el planeamiento minero.

La aplicación de esta matriz contribuye a reducir la incertidumbre en la interpretación geológica, establecer prioridades para futuras actividades de exploración y respaldar la toma de decisiones con base en criterios técnicos.

Tabla 4-18

Protocolo práctico para planear la Caracterización del yacimiento.

Etapa	Actividades
Etapas 1. Delimitación preliminar del depósito	- Definir el contorno preliminar del depósito con base en la información obtenida durante el levantamiento geológico. - Verificar la coherencia entre la cartografía geológica, los perfiles estratigráficos y los registros de campo.
Etapas 2. Evaluación del espesor y la continuidad del manto	- Determinar el espesor bruto y el espesor útil del manto en los puntos de observación representativos. - Evaluar la continuidad lateral y vertical del carbón antes de realizar extrapolaciones.
Etapas 3. Evaluación de las variaciones geológicas del depósito	- Identificar variaciones de espesor, intercalaciones (<i>partings</i>), fallas, pliegues y cambios de buzamiento. - Analizar las condiciones estructurales que puedan afectar la continuidad del manto y el desarrollo de las labores mineras.
Etapas 4. Evaluación preliminar de la calidad del carbón	- Integrar la información disponible sobre la calidad del carbón obtenida mediante observaciones de campo y resultados de laboratorio. - Analizar parámetros como contenido de cenizas, humedad, azufre, poder calorífico y demás variables disponibles que apoyen la caracterización del depósito.
Etapas 5. Integración e interpretación de la información	- Integrar la cartografía geológica, los perfiles estratigráficos, la información estructural y los resultados de calidad del carbón. - Interpretar el comportamiento geológico del depósito para sustentar el modelamiento geológico, la estimación de recursos y reservas y el planeamiento minero. - Verificar que la información recopilada sea suficiente, consistente y trazable antes de avanzar a las etapas posteriores del estudio.



La **Tabla 4-19** presenta un ejemplo de matriz para la priorización de sectores durante la caracterización del depósito.

Tabla 4-19

Matriz de evaluación del yacimiento

Zona	Espesor útil (m)	Continuidad del manto	Calidad del carbón	Condición estructural	Nivel de prioridad
Zona 1	1,4	Continua	Baja ceniza / Alto poder calorífico	Sin afectación significativa	Alta
Zona 2	1,05	Moderada	Calidad variable	Presencia local de fracturas	Media
Zona 3	0,8	Discontinua	Mayor contenido de cenizas.	Afectación por falla	Baja

Interpretación de la matriz de priorización

La matriz de priorización integra los principales criterios técnicos utilizados durante la caracterización del depósito y permite comparar, de manera objetiva, los diferentes sectores evaluados. Cada uno de sus campos aporta información para establecer el nivel de conocimiento geológico del depósito y orientar la secuencia de las actividades de exploración, modelamiento geológico y planeamiento minero.

A continuación, se describe el propósito de cada uno de los criterios considerados en la matriz:

- **Zona:** sector del depósito delimitado durante la caracterización geológica, en el que el manto presenta condiciones relativamente homogéneas de geometría, continuidad y calidad.
- **Espesor útil:** espesor del carbón potencialmente aprovechable, obtenido al descontar las intercalaciones o niveles estériles presentes dentro del manto. Este parámetro constituye uno de los principales insumos para la estimación de recursos.
- **Continuidad del manto:** grado de continuidad lateral y vertical del manto de carbón entre los diferentes puntos de observación, determinado a partir de la correlación geológica y la información disponible.

- **Calidad del carbón:** evaluación de las características del carbón con base en los resultados de laboratorio disponibles, tales como contenido de cenizas, humedad, azufre, poder calorífico u otros parámetros que contribuyan a valorar su potencial de aprovechamiento.
- **Condición estructural:** presencia de fallas, pliegues, fracturas, cambios de buzamiento u otras estructuras geológicas que puedan afectar la continuidad, el espesor o las condiciones de explotación del manto.
- **Nivel de prioridad:** resultado de la evaluación integrada de los criterios anteriores, utilizado para establecer el orden técnico de intervención, orientar actividades complementarias de exploración y apoyar la estimación de recursos y el planeamiento minero.

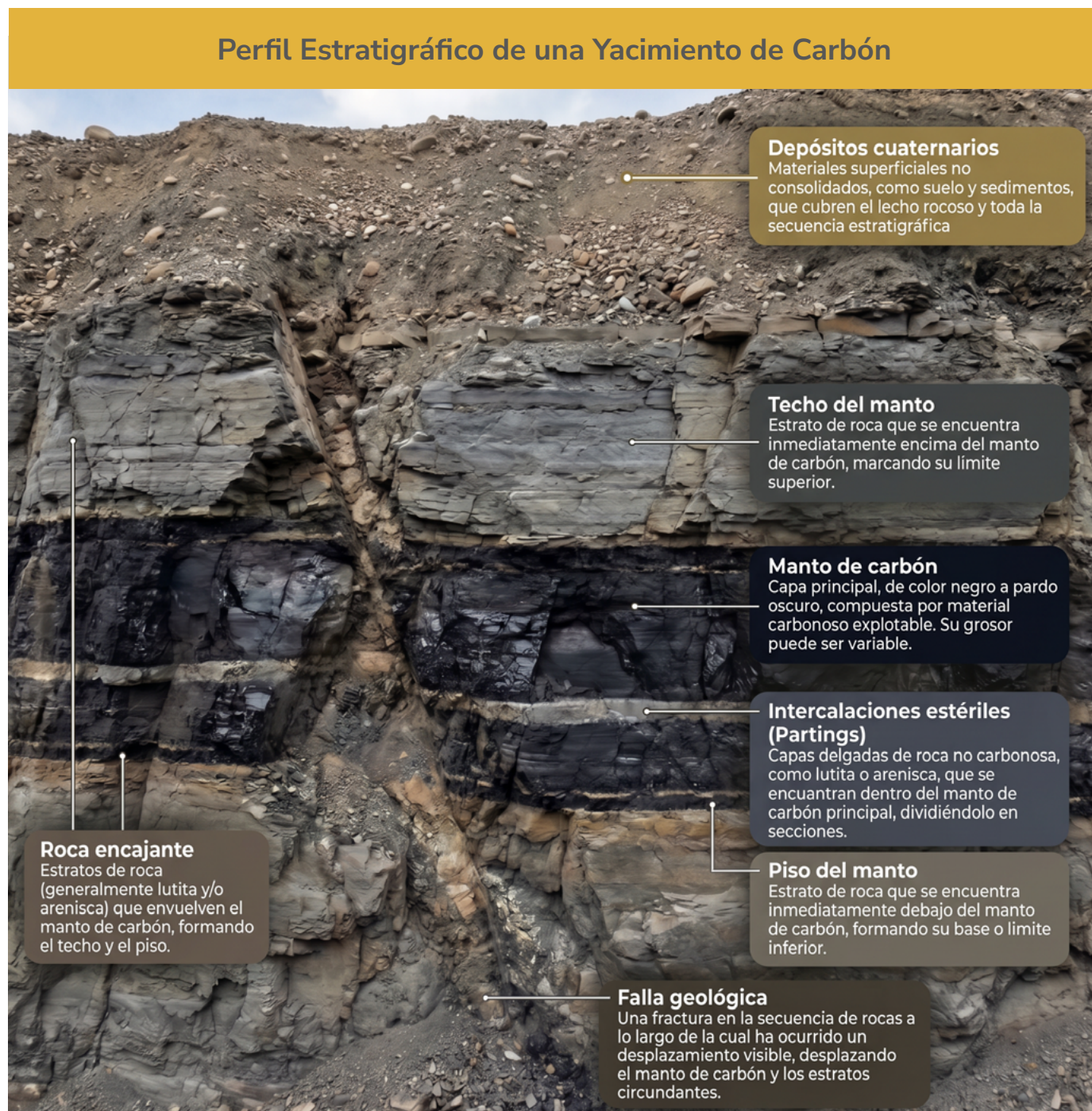
La priorización de los sectores evaluados constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones durante la caracterización del depósito. Su aplicación facilita la identificación de las áreas con mejores condiciones geológicas, fortalece la confiabilidad de la estimación de recursos y proporciona criterios técnicos para planificar las etapas posteriores del proyecto.



Como complemento a este análisis, la interpretación conjunta de la información de campo, los perfiles estratigráficos y las representaciones geológicas permite evaluar la continuidad del manto, su variabilidad interna y las relaciones litológicas que controlan la geometría del depósito. La **Figura 4-7** presenta un ejemplo de estas observaciones durante la caracterización geológica.

Figura 4-7

Ejemplo de observaciones utilizadas para la caracterización geológica de mantos de carbón



Lista de chequeo de la caracterización del depósito

Como parte del proceso de caracterización del depósito, es recomendable verificar que la información geológica recopilada sea suficiente, consistente y técnicamente sustentada antes de avanzar al modelamiento geológico o a la estimación de recursos y reservas. Esta revisión permite identificar posibles vacíos de información y fortalecer la confiabilidad de las interpretaciones realizadas.

La **Tabla 4-20** presenta una lista de chequeo con los principales aspectos que deben verificarse antes de considerar técnicamente finalizada la caracterización del depósito.

Tabla 4-20
Lista de chequeo caracterización del yacimiento.



Verificar	SÍ	NO
Continuidad del manto evaluada	☐	☐
Variaciones de espesor identificadas	☐	☐
Sectores del depósito con características similares de espesor y calidad identificados	☐	☐
Intercalaciones consideradas en la interpretación	☐	☐
Condiciones estructurales del manto analizadas	☐	☐
Calidad del carbón asociada al espesor útil	☐	☐
Espesor útil diferenciado del espesor bruto	☐	☐

4.2.3.2. Recomendaciones

La calidad de la caracterización del depósito depende de la consistencia de la información geológica recopilada y de la correcta interpretación de los datos obtenidos durante el levantamiento de campo, el muestreo y los análisis de laboratorio. La aplicación de buenas prácticas durante esta etapa permite reducir la incertidumbre geológica y proporciona una base técnica confiable para el mo-

delamiento geológico, la estimación de recursos y reservas y el planeamiento de la explotación.

Las principales recomendaciones para la caracterización del depósito se presentan en la **Tabla 4-21**.



Tabla 4-21

Recomendaciones para la caracterización del yacimiento

Aspecto	Recomendación técnica
Integración de información	Integrar y analizar la información geológica regional, local y de laboratorio antes de definir el modelo del manto
Coherencia de zonas	Verificar que las zonas delimitadas mantengan coherencia en espesor, continuidad y calidad entre los puntos evaluados antes de incorporarlas a la estimación
Sustento técnico	No asumir continuidad o calidad del carbón en sectores donde no exista información comprobada en campo o laboratorio
Registro y trazabilidad	Confirmar que la información utilizada esté debidamente registrada y vinculada a los puntos evaluados en campo
Espesores	Diferenciar claramente entre espesor bruto y espesor útil antes de consolidar la interpretación

La implementación sistemática de estas recomendaciones contribuye a mejorar la confiabilidad de la información geológica, disminuir las incertidumbres asociadas a la interpretación del depósito y fortalecer la calidad de las estimaciones que servirán de soporte para las etapas posteriores del planeamiento minero.

Ejemplo de aplicación

El siguiente ejemplo ilustra la aplicación de los criterios utilizados durante la caracterización del depósito y la forma en que la información geológica obtenida en campo sirve de apoyo para la estimación de recursos y el planeamiento de la explotación.

Durante el reconocimiento de una labor subterránea se identifica un manto de carbón con un espesor bruto promedio de **1,3 m**. En el frente de explotación se observan intercalaciones estériles de aproximadamente **10 cm**, por lo que el espesor útil del carbón se determina en **1,2 m**.

Las muestras se obtienen exclusivamente del carbón limpio, excluyendo los niveles estériles, y cada punto de muestreo se documenta mediante su res-

pectiva georreferenciación y registro de las condiciones observadas en campo. Posteriormente, los resultados de laboratorio confirman que el carbón cumple con los parámetros de calidad requeridos para su aprovechamiento.

La comparación de la información obtenida en los diferentes puntos evaluados permite identificar sectores donde el manto presenta mayor continuidad, menor presencia de intercalaciones y mejores condiciones para la explotación. De esta manera, la caracterización del depósito se fundamenta en el espesor útil del carbón y no en el espesor bruto, evitando sobreestimar el volumen potencialmente aprovechable.

La información consolidada durante esta etapa constituye un insumo para el modelamiento geológico, la estimación de recursos y reservas y la definición de las estrategias de explotación del depósito.



Figura 4-8

Ejemplo ilustrativo del reconocimiento geológico y muestreo de un manto de carbón en una labor subterránea



La Figura 4-8 ilustra las principales actividades desarrolladas durante la caracterización del depósito en una labor subterránea, incluyendo la identificación del techo, el manto y el piso, la medición del espesor bruto y del espesor útil, el reconocimiento de intercalaciones estériles y el registro del punto de muestreo.

La integración de esta información permite sustentar la interpretación geológica del depósito, mejorar la confiabilidad de la estimación de recursos y garantizar la trazabilidad de las muestras utilizadas para evaluar la calidad del carbón.

4.2.4. Exploración directa, muestreo y control de calidad (QA/QC)

La exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC) constituyen etapas fundamentales para validar la información geológica del depósito y reducir la incertidumbre asociada a la estimación de recursos. Estas actividades permiten verificar en campo que las características interpretadas durante la evaluación geológica correspondan a las condiciones reales observadas en los mantos de carbón.

Durante esta etapa se inspeccionan frentes de explotación, labores mineras o perforaciones disponibles, con el fin de identificar las características del manto, medir el espesor bruto y el espesor



útil, reconocer intercalaciones estériles y obtener muestras representativas para su análisis. La confiabilidad de la información obtenida depende de la aplicación de procedimientos de muestreo y registro que garanticen la representatividad de las muestras, la trazabilidad de los datos y la implementación de medidas de control y aseguramiento de la calidad (QA/QC) (ANM y CCRR, 2024).

En operaciones de pequeña minería, este proceso permite:

- Verificar la continuidad del espesor útil entre los diferentes puntos de observación.
- Identificar intercalaciones, variaciones de espesor y otras condiciones geológicas que puedan afectar el volumen de carbón aprovechable.
- Garantizar la correcta georreferenciación y trazabilidad de cada muestra.
- Comparar los resultados de laboratorio con las observaciones realizadas durante el levantamiento geológico.
- Fortalecer la confiabilidad de la información utilizada para el modelamiento geológico y la estimación de recursos. La aplicación sistemática de estas actividades proporciona información geológica verificable y técnicamente sustentada, reduciendo la incertidumbre durante la caracterización del depósito y respaldando las etapas posteriores del planeamiento minero.

La **Figura 4-9** presenta los principales aspectos que deben considerarse durante la exploración directa, el muestreo y el control de calidad.

Figura 4-9.

Aspectos evaluados durante la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC)



4.2.4.1 Alcance en pequeña minería

En las operaciones de pequeña minería, la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC) se desarrollan de acuerdo con el nivel de exploración alcanzado y la información geológica disponible. Su alcance comprende la obtención de muestras representativas, el registro sistemático de la información de campo y la aplicación de procedimientos básicos de aseguramiento y control de calidad, con el fin de validar la geometría, continuidad, espesor y calidad de los mantos de carbón. Estas actividades proporcionan información confiable para el modelamiento geológico y la estimación de recursos.

Los principales aspectos que comprende esta etapa se presentan en la **Tabla 4-22**.



Tabla 4-22
Alcance de la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC) en pequeña minería

Aspecto	Alcance en pequeña minería
Espesor del manto	Verificación del espesor útil en puntos representativos.
Continuidad	Comprobación entre frentes o perforaciones cercanas.
Muestreo	Toma de muestras del carbón realmente explotable, evitando material estéril.
Registro	Documentación básica de ubicación, fecha y condiciones del punto evaluado.
Identificación	Asociación clara de cada muestra hasta su análisis en laboratorio.



Estos aspectos permiten trabajar con información clara y verificable, necesaria para realizar la estimación del recurso de manera confiable en pequeña minería.

4.2.5. Componentes de la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC)

La exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC) comprenden un conjunto de actividades orientadas a obtener información geológica representativa y confiable sobre los mantos de carbón. La integración de estos componentes permite validar las condiciones observadas en campo, garantizar la calidad de los datos recopilados y proporcionar información técnica para el modelamiento geológico y la estimación de recursos.

Los principales componentes de esta etapa se presentan en la **Tabla 4-23**.



Tabla 4-23

Componentes de la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC).

Componente	Descripción	Aplicación en pequeña minería
Exploración directa	Revisión del manto en labores activas o perforaciones, donde se observa y mide el espesor útil.	Permite comprobar la continuidad y condiciones reales del carbón
Muestreo sistemático	Extracción de muestras del carbón limpio, evitando incluir material estéril.	Permite evaluar la calidad real del carbón explotable.
Identificación y registro	Asignación de código, ubicación y datos del punto de muestreo.	Permite relacionar cada muestra con su lugar de origen.
Control básico (QA/QC)	Verificación sencilla de que las muestras y resultados correspondan al punto evaluado.	Reduce errores en la interpretación de resultados.

La siguiente herramienta presenta una secuencia metodológica para desarrollar las actividades de exploración directa, muestreo y control de calidad (QA/QC) en operaciones de pequeña minería. Su propósito es orientar la obtención de información geológica representativa, el registro sistemático de las muestras y la aplicación de procedimientos básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC), con el fin de garantizar la confiabilidad de los datos que servirán de base para el modelamiento geológico y la estimación de recursos. Las principales etapas de este proceso se presentan en la **Tabla 4-24**.

Tabla 4-24

Protocolo práctico para la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC)

	Actividades
Etapas 1. Exploración directa del manto	Seleccionar los frentes de explotación, labores mineras o perforaciones que serán objeto de evaluación. • Verificar el espesor visible del manto e identificar la presencia de intercalaciones estériles. • Definir los puntos representativos para la exploración directa y el muestreo.
Etapas 2. Registro geológico de los puntos evaluados	• Registrar la información geológica de cada punto de observación. • Documentar la secuencia techo–manto–piso, el espesor bruto y útil, el rumbo y el buzamiento. • Georreferenciar los puntos y registrar las condiciones observadas durante el levantamiento.
Etapas 3. Muestreo representativo del carbón	• Seleccionar los puntos e intervalos de muestreo de acuerdo con las características del depósito. • Obtener muestras representativas del espesor útil, evitando la inclusión de material estéril. • Aplicar el método de muestreo definido para la caracterización del carbón.



Etapas 4. Identificación y trazabilidad de las muestras	• Identificar y codificar cada muestra de forma única. • Registrar la información asociada a cada muestra, incluyendo ubicación, fecha, espesor muestreado y condiciones del punto. • Garantizar la trazabilidad durante el almacenamiento, transporte y envío al laboratorio.
Etapas 5. Aseguramiento y control de la calidad (QA/QC)	• Aplicar procedimientos básicos de aseguramiento y control de la calidad durante el muestreo. • Verificar la representatividad de las muestras y prevenir su contaminación o alteración. • Implementar muestras de control, duplicados u otras verificaciones cuando las condiciones del proyecto lo requieran.
Etapas 6. Validación de los resultados de laboratorio	• Verificar la correspondencia entre las muestras enviadas y los resultados analíticos recibidos. • Comparar los resultados de laboratorio con la información obtenida durante la exploración directa y el muestreo. • Validar la calidad y consistencia de la información antes de incorporarla al modelo geológico y a la estimación de recursos y reservas.

Muestreo

El muestreo debe representar correctamente el espesor útil del manto. Si la muestra no representa correctamente el espesor útil del manto o incluye material estéril, parámetros como cenizas, azufre o poder calorífico pueden verse alterados. Por esta

razón, el tipo de muestreo debe definirse de acuerdo con el objetivo del análisis que se va a realizar. En pequeña minería, los principales tipos de muestreo aplicables son los siguientes, como se presentan en la **Tabla 425**.

Tabla 4-25
Tipos de muestreo y su aplicabilidad en pequeña minería

Tipo de muestreo	Cómo se realiza	Cuando se debe usar	Para qué sirve	No debe usarse para
Muestreo de canal (continuo)	Se toma muestra a lo largo de todo el espesor útil del manto, separando material estéril visible	Cuando se quiere evaluar calidad del carbón	Determinar cenizas, humedad, azufre, poder calorífico, volátiles y carbono fijo	No debe realizarse sin separar intercalaciones estériles ni sin registrar el espesor real muestreado
Muestreo por intervalos	Se divide el manto en tramos y se toman muestras separadas	Cuando se quiere analizar variabilidad interna	Evaluar cambios de calidad dentro del espesor	No reemplaza el muestreo de canal para calidad promedio



Muestreo puntual	Se toma muestra en un punto específico	Para verificación preliminar	Confirmar presencia del carbón	No estimar calidad promedio
Ripios de perforación	Material recuperado durante perforación	Para identificar presencia y espesor	Confirmar continuidad	No analizar calidad comercial

Cuando se busca determinar calidad comercial del carbón (cenizas, azufre, poder calorífico, humedad, volátiles y carbono fijo), debe emplearse muestreo de canal representativo del espesor útil completo. Otros métodos pueden utilizarse para verificación o continuidad, pero no deben emplearse para estimar calidad promedio del manto, pero no deben emplearse para estimar la calidad promedio del manto.

Para garantizar que el muestreo sea técnicamente representativo, se deberán tener en cuenta los siguientes criterios operativos:

- El muestreo de calidad comercial debe realizarse exclusivamente sobre el espesor útil previamente medido en campo.
- Las intercalaciones menores a 10 cm podrán incluirse dentro del canal; aquellas mayores deberán separarse físicamente.
- Cuando dentro de un mismo manto se identifiquen sectores con comportamiento diferente, deberán tomarse muestras independientes por sector.

- No mezclar materiales de diferentes niveles, frentes o sectores en una misma muestra.

Formato básico de control de muestreo

El registro sistemático de la información obtenida durante el muestreo constituye un elemento fundamental para garantizar la trazabilidad de las muestras y la confiabilidad de los resultados analíticos. Un formato estandarizado facilita la documentación de las condiciones del punto de muestreo, las características del manto y el procedimiento aplicado, permitiendo relacionar cada muestra con su ubicación y condiciones geológicas.

La **Tabla 4-26** presenta un formato básico para el registro y control del muestreo, el cual puede adaptarse a las condiciones y necesidades de cada proyecto.

Tabla 4-26

Información mínima requerida para el registro de muestreo

Código	Manto	Labor / Frente	Coord. (N/E)	Cota (m)	E. bruto (m)	Interc. (cm)	E. útil (m)	Muestreo	Interc. sep.	Observ.
C-01A	M1	Gal. N – F1	1.234.560 / 987.650	2650	1,5	0	1,5	Canal	NA	Homogéneo
C-01B	M1	Gal. N – F1	1.234.560 / 987.650	2650	1,4	20	1,2	Canal	Sí	Parting sep.
C-02	M1	Gal. N – F2	1.234.575 / 987.662	2648	1,35	5	1,3	Canal	No	Espesor estable



Interpretación de los campos del formato de registro

El formato reúne la información mínima requerida para documentar las muestras obtenidas durante la exploración directa y el muestreo del carbón. Cada uno de sus campos contribuye a garantizar la representatividad, trazabilidad y calidad de la información utilizada para la caracterización del depósito y la estimación de recursos.

- **Código:** identificador único asignado a cada muestra. Cuando sea necesario, podrá subdividirse (por ejemplo, C-01A y C-01B) para diferenciar muestras obtenidas en un mismo frente con características geológicas distintas.
- **Manto:** nombre o identificación del nivel de carbón evaluado, permitiendo relacionar las muestras con el horizonte geológico correspondiente.
- **Labor/Frente:** ubicación específica donde se obtuvo la muestra, indicando la labor minera, galería, inclinado, tambor, frente de explotación u otro sitio de muestreo.
- **Coordenadas (N/E):** ubicación geográfica del punto de muestreo, registrada en el sistema oficial de coordenadas utilizado por el proyecto.
- **Cota (m):** elevación o profundidad del punto muestreado. En minería subterránea se recomienda registrar la cota para facilitar la correlación entre labores.
- **Espesor bruto (m):** espesor total observado del manto, incluyendo las intercalaciones estériles.
- **Intercalaciones (cm):** espesor de los niveles estériles presentes dentro del manto. Cuando no existan, deberá registrarse un valor de cero.
- **Espesor útil (m):** espesor del carbón potencialmente aprovechable, obtenido al descontar las intercalaciones que, conforme al criterio técnico adoptado, no forman parte del carbón explotable.
- **Tipo de muestreo:** método aplicado para la obtención de la muestra (por ejemplo, muestreo de canal, por intervalos o puntual).
- **Intercalaciones separadas:** indica si las intercalaciones fueron retiradas físicamente durante el muestreo, como parte del procedimiento para obtener una muestra representativa.
- **Observaciones:** espacio destinado a registrar aspectos relevantes, tales como variaciones litológicas, presencia de intercalaciones, condiciones estructurales, humedad u otras características que puedan influir en la interpretación de los resultados.

Figura 4-10

Muestreo de canal en un manto de carbón en frente de mina subterránea



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

La aplicación de procedimientos básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) permite verificar que las muestras obtenidas sean representativas del espesor útil del manto y que los resultados de laboratorio reflejen de manera confiable las características del carbón evaluado. Estos controles contribuyen a garantizar la trazabilidad de las muestras, la consistencia de los datos y la confiabilidad de la información utilizada para el modelamiento geológico y la estimación de recursos.

Los principales controles básicos de QA/QC aplicables a las operaciones de pequeña minería se presentan en la **Tabla 4-27**.

La aplicación de estos controles permite verificar que las muestras sean representativas del espesor útil del manto y que los resultados analíticos constituyan una base confiable para el modelamiento geológico y la estimación de recursos.

Los procedimientos básicos de exploración directa, muestreo y aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) descritos en esta guía se desarrollan en concordancia con los lineamientos técnicos nacionales aplicables a la exploración de depósitos de carbón. Para ampliar los criterios relacionados con los métodos de muestreo, los procedimientos de QA/QC y la estimación de recursos y reservas, se recomienda consultar la Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Carbón de la Agencia Nacional de Minería (ANM).

Tabla 4-27

Controles básicos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) aplicables a la exploración y el muestreo de carbón en pequeña minería

Actividad / Requisito	Control en Campo (QA/QC)	Control en Laboratorio (QA/QC)
Georreferenciación y ubicación de puntos	Registrar coordenadas del frente o perforación y documentar la posición del manto.	Verificar coincidencia entre código, ubicación y registro de ingreso.
Identificación y rotulado de muestras	Asignar código único y registrar espesor útil muestreado e intervalo techo-piso.	Confirmar coincidencia del código y estado del material recibido.
Muestreo del manto de carbón	Realizar muestreo de canal separando intercalaciones estériles y documentar espesor real.	Verificar integridad y confirmar que el análisis corresponda al intervalo muestreado.
Control de contaminación	Evitar inclusión de techo, piso o mezcla de niveles; usar herramientas limpias.	Evitar contaminación cruzada entre muestras.
Muestras duplicadas / réplicas	Tomar muestra adicional cuando existan dudas sobre calidad o continuidad.	Comparar resultados cuando se realicen repeticiones analíticas.
Preparación de muestras	Asegurar adecuada conservación y transporte del material.	Verificar que el laboratorio realice trituración y homogenización antes del análisis
Controles analíticos	Registrar condiciones observadas en el punto muestreado.	Determinar parámetros definidos previamente y verificar coherencia entre muestra, método y resultado.



Lista de chequeo de la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC)

Como parte del proceso de exploración directa, muestreo y control de calidad, se recomienda verificar que la información recopilada sea representativa, completa y técnicamente sustentada antes de incorporarla al modelo geológico o utilizarla en la estimación de recursos. Esta revisión permite identificar posibles inconsistencias o vacíos de información que deban corregirse antes de continuar con las siguientes etapas del estudio.

La **Tabla 4-28** presenta una lista de chequeo con los principales aspectos que deben verificarse antes de considerar técnicamente finalizada esta etapa.

Tabla 4-28
Lista de chequeo exploración directa y muestreo.



Para verificar	SÍ	NO
Puntos de exploración directa identificados	☐	☐
Puntos de muestreo georreferenciados km	☐	☐
Registro fotográfico del punto de muestreo	☐	☐
Espesor útil verificado en campo	☐	☐
Muestreo realizado sobre carbón limpio	☐	☐
Intercalaciones estériles excluidas del muestreo	☐	☐
Muestras rotuladas con código único	☐	☐
Cadena de custodia registrada	☐	☐
Resultados de laboratorio disponibles	☐	☐
Control de calidad del muestreo (QA/QC) aplicado	☐	☐

4.2.5.2. Recomendaciones

Durante la exploración directa y el muestreo del manto de carbón, se deben aplicar criterios técnicos que aseguren que las muestras sean representativas y que la información registrada en campo coincida con los resultados de laboratorio, con base en los criterios técnicos definidos en la Tabla 429.



Tabla 4-29

Recomendaciones técnicas para exploración directa y muestreo.

Aspecto	Recomendación técnica
Planificación	Definir previamente los puntos de exploración y muestreo, evitando sesgos hacia zonas favorables.
Espesor útil	Medir y registrar el espesor útil antes del muestreo.
Representatividad	Tomar muestras únicamente sobre el espesor útil, sin incluir material estéril.
Integridad del muestreo	No mezclar materiales de diferentes niveles, frentes o sectores.
Identificación	Rotular cada muestra inmediatamente después de su extracción.
Trazabilidad	Registrar envío y recepción de muestras.
Coherencia técnica	Verificar que el tipo de muestra corresponda con el parámetro analizado y las condiciones geológicas observadas.

La aplicación sistemática de estas recomendaciones contribuye a mejorar la representatividad del muestreo, fortalecer la confiabilidad de la información geológica y garantizar que los resultados analíticos utilizados en el modelamiento geológico y la estimación de recursos sean consistentes, trazables y técnicamente verificables.

Ejemplo de aplicación

El siguiente ejemplo ilustra la aplicación de buenas prácticas durante la exploración directa, el muestreo y el aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) en una operación de pequeña minería.

Durante el reconocimiento de una galería subterránea se identifican dos sectores dentro del mismo manto de carbón: uno con espesor uniforme y otro con una intercalación estéril de aproximadamente **20 cm**. Con el fin de obtener muestras representativas, se realiza un muestreo de canal únicamente sobre el espesor útil del carbón, retirando previamente la intercalación para evitar que esta altere los resultados de los análisis de laboratorio.

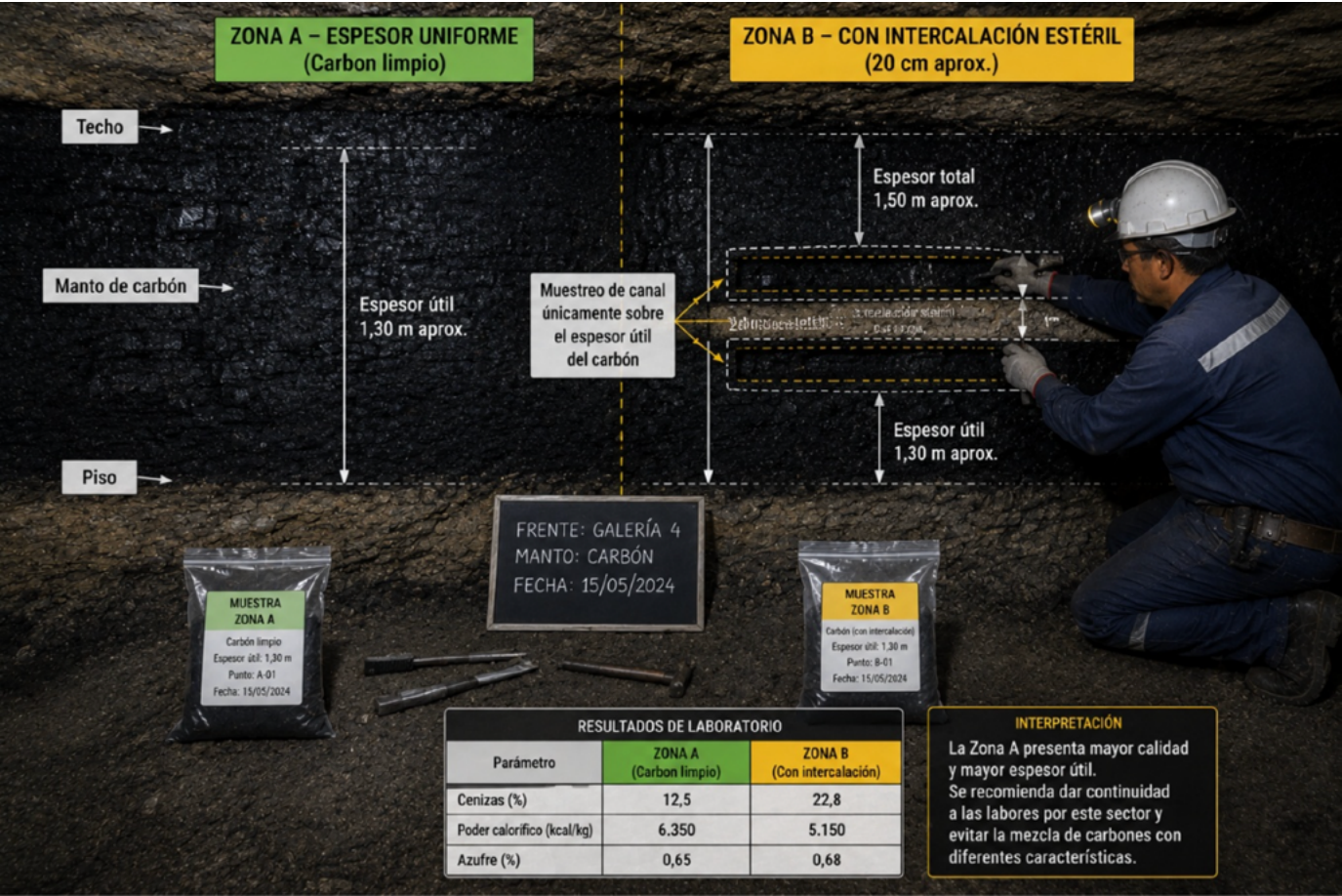
Debido a las diferencias observadas en el comportamiento geológico del manto, se toman muestras independientes para cada sector, garantizando su identificación, georreferenciación y trazabilidad durante todo el proceso de muestreo y análisis.

Los resultados de laboratorio evidencian un mayor contenido de cenizas y un menor poder calorífico en el sector donde se presenta la intercalación estéril, confirmando una disminución tanto de la calidad del carbón como del espesor útil.

La integración de esta información permite identificar los sectores con mejores condiciones para la explotación, orientar el desarrollo de las labores mineras y evitar la mezcla de carbones con características de calidad diferentes, fortaleciendo la confiabilidad del modelo geológico y de la estimación de recursos.



Figura 4-11
Ejemplo ilustrativo de la aplicación de buenas prácticas durante la exploración directa, el muestreo y el control de calidad (QA/QC) de un manto de carbón



La **Figura 4-11** muestra la aplicación del muestreo de canal en un frente de explotación donde el manto presenta variaciones asociadas a una intercalación estéril. La diferenciación de los sectores de muestreo y la exclusión del material estéril permiten obtener muestras representativas del espesor útil del carbón, garantizando la trazabilidad de la información y la confiabilidad de los resultados analíticos.

Estas prácticas constituyen un elemento fundamental del aseguramiento y control de la calidad (QA/QC), ya que reducen la incertidumbre en la caracterización del depósito y proporcionan información técnica confiable para el modelamiento geológico, la estimación de recursos y el planeamiento de la explotación



4.2.6. Modelo geológico

El modelo geológico constituye la representación técnica e integrada del depósito de carbón, elaborada a partir de la información geológica, estructural, estratigráfica y de calidad obtenida durante las etapas de exploración, muestreo y caracterización. Su finalidad es representar la geometría, continuidad, espesor útil y variabilidad de los mantos de carbón, así como las estructuras geológicas que pueden influir en su distribución y explotación.

En las operaciones de pequeña minería, el modelo geológico permite:

- Integrar y organizar la información geológica recopilada durante el proyecto.
- Representar la geometría y continuidad de los mantos de carbón.
- Identificar variaciones en el espesor útil, la calidad del carbón y las condiciones estructurales del depósito.
- Proporcionar la base técnica para la estimación de recursos y el planeamiento de la explotación.

La elaboración de un modelo geológico confiable contribuye a reducir la incertidumbre en la interpretación del depósito y facilita la toma de decisiones durante las etapas posteriores del planeamiento minero.

La **Figura 4-12** presenta los principales componentes considerados para la elaboración del modelo geológico.



Figura 4-12

Componentes para la elaboración del modelo geológico



4.2.6.1. Alcance en pequeña minería

En las operaciones de pequeña minería, el modelo geológico debe representar de manera coherente las características del depósito, utilizando la información geológica disponible y el nivel de exploración alcanzado. Su alcance comprende la integración de la información obtenida durante el levantamiento geológico, la caracterización del depósito, el muestreo y el control de calidad (QA/QC), con el propósito de sustentar la estimación de recursos y orientar el planeamiento minero.



Los principales aspectos que comprende el modelo geológico en pequeña minería se presentan en la **Tabla 4-30**.

Tabla 4-30
Alcance del modelo geológico en pequeña minería

Componente del modelo	Alcance requerido
Base cartográfica	Integrar topografía y sistema de coordenadas del proyecto.
Geometría del manto	Representar continuidad lateral, rumbo y buzamiento.
Espesor útil	Correlacionar espesores entre frentes o perforaciones.
Calidad del carbón	Incorporar resultados de laboratorio disponibles.
Variabilidad geológica	Identificar intercalaciones y afectación estructural.
Delimitación del modelo con base en la información disponible.	Definir áreas con potencial explotable según la información disponible.

El modelo no requiere herramientas digitales avanzadas, pero sí una representación clara, verificable y documentada que permita sustentar la estimación del recurso.

4.2.6.2. Componentes del modelo geológico

El modelo geológico en pequeña minería debe representar de forma comprensible la geometría y continuidad del manto de carbón dentro del área del proyecto, utilizando la información geológica disponible. Para su elaboración se deben considerar, como mínimo, los siguientes componentes, los cuales se presentan en la **Tabla 4-31**.

Tabla 4-31
Componentes del modelo geológico y su aplicabilidad en pequeña minería.

Componente	Descripción breve	Aplicación en pequeña minería
Geometría del manto	Delimitación lateral y vertical, continuidad, buzamiento y variaciones de espesor	Define límites explotables y cambios geométricos
Espesor útil	Espesor aprovechable descontando intercalaciones visibles	Permite estimar volumen real explotable
Organización interna	Presencia de partings y variaciones internas del manto	Identifica zonas homogéneas y variables



Control estructural	Influencia de fallas, pliegues o fracturamiento	Anticipa discontinuidades o cambios abruptos
Calidad del carbón	Resultados analíticos (cenizas, poder calorífico, azufre, humedad)	Diferencia sectores con mejor o menor calidad
Integración e interpretación del modelo	Análisis conjunto de geometría, espesor útil, estructura y calidad para construir una representación coherente del manto	Permite tomar decisiones técnicas con menor riesgo y evitar extender el manto sin respaldo de campo

La cartografía geológica utilizada para la construcción del modelo geológico debe consultarse y verificarse con información oficial, con el fin de garantizar la coherencia entre la interpretación local y el contexto geológico regional. Como referencia, se recomienda utilizar la cartografía geocientífica disponible en el Visor de Cartografía Geocientífica del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

La construcción del modelo geológico requiere integrar e interpretar de manera sistemática la información obtenida durante la evaluación del depó-

sito, incluyendo los resultados del levantamiento geológico, la caracterización, el muestreo y el control de calidad (QA/QC). Con este propósito, la siguiente herramienta presenta una secuencia metodológica para organizar la información geológica, estructural y de calidad del carbón, y elaborar una representación técnica del comportamiento de los mantos de carbón dentro del área evaluada.

Las principales etapas de este proceso se presentan en la **Tabla 4-32**.

Tabla 4-32

Protocolo práctico para la construcción del modelo geológico

Etapas	Actividades
1. Consolidación de la información técnica	• Reunir e integrar la información geológica, topográfica, estructural y analítica disponible para la construcción del modelo geológico. • Verificar la consistencia y completitud de los registros geológicos, perfiles, cartografía, resultados de laboratorio y demás información de soporte. • Identificar vacíos o inconsistencias que deban resolverse antes de la integración del modelo.
2. Correlación de los mantos de carbón	• Correlacionar los mantos de carbón entre frentes de explotación, labores mineras, afloramientos y perforaciones, según la información disponible. • Analizar la continuidad de los mantos considerando el espesor útil, las litologías de techo y piso, el rumbo y el buzamiento. • Identificar cambios laterales o interrupciones que puedan afectar la interpretación geológica.
3. Evaluación del control estructural	• Identificar fallas, pliegues, fracturas, desplazamientos y demás estructuras geológicas que influyan en la continuidad de los mantos. • Incorporar las estructuras geológicas verificadas dentro de la interpretación del modelo. • Evaluar la influencia de estas estructuras sobre la geometría y continuidad del depósito.
4. Delimitación de la geometría del depósito	• Definir la extensión lateral y vertical de los mantos de carbón con base en la información disponible. • Delimitar las zonas donde exista suficiente control geológico para sustentar la interpretación. • Evitar extrapolaciones que no estén respaldadas por evidencia geológica suficiente.
5. Integración del modelo geológico	• Integrar la información geológica, estructural y de calidad del carbón en una representación coherente del depósito. • Identificar sectores con características geológicas homogéneas y zonas donde exista mayor incertidumbre. • Verificar que el modelo geológico sea consistente con la información recopilada y constituya una base técnica para la estimación de recursos y el planeamiento minero.

El modelo geológico en pequeña minería constituye una herramienta para la toma de decisiones en el proyecto, cuyos principales usos y resultados esperados se presentan en la **Tabla 4-33**.



Tabla 4-33
Uso del modelo geológico en pequeña minería de carbón

Uso del modelo geológico	Resultado esperado
Delimitación del manto	Representación clara de la geometría y continuidad del manto de carbón
Estimación preliminar de recursos	Cálculo aproximado del volumen de carbón disponible
Planeamiento de labores mineras	Orientación técnica del avance de explotación
Identificación de zonas prioritarias	Selección de sectores con mayor continuidad y espesor del manto
Soporte técnico ante la autoridad minera	Sustento geológico verificable del proyecto

Integración de la Información

Para elaborar el modelo geológico es necesario reunir la información obtenida en frentes, perforaciones, levantamientos topográficos y resultados de laboratorio, y analizarla en conjunto.

Con esta información se correlacionan los espesores del manto entre distintos puntos del área, se identifican variaciones asociadas a fallas o cambios en el buzamiento y se delimitan sectores donde las características geológicas son similares.

La revisión estructural permite reconocer desplazamientos o interrupciones que afecten la continuidad del manto, mientras que los resultados de laboratorio permiten evaluar variaciones de calidad y su influencia en el espesor útil aprovechable. En este contexto, el modelo debe representar de forma clara los elementos que lo integran, los cuales se presentan en la **Tabla 434**.

Tabla 4-34
Elementos que debe integrar el modelo geológico.

Elemento del modelo	Información que debe representar
Continuidad y geometría	Disposición espacial, rumbo y buzamiento del manto
Espesor útil	Espesor explotable correlacionado entre puntos
Estructuras geológicas	Fallas, pliegues u otras estructuras que condicionen la continuidad
Calidad del carbón	Distribución de calidad según resultados de laboratorio disponibles



Representación geométrica y continuidad del manto

La representación geométrica del manto permite visualizar su disposición espacial dentro del área del proyecto y comprender cómo varía su espesor y continuidad entre los diferentes puntos evaluados.

En pequeña minería, esta representación debe basarse en la información levantada en frentes, perforaciones y topografía disponible, asegurando coherencia entre los datos estructurales y el comportamiento observado del manto de carbón. El modelo debe reflejar los siguientes aspectos, los cuales se detallan en la **Tabla 4-35**.

Tabla 4-35

Representación geométrica y continuidad del manto

Aspecto geométrico	Información que debe representarse
Geometría del manto	Forma y disposición espacial del manto dentro del área del proyecto
Rumbo y buzamiento	Dirección e inclinación del manto según mediciones en campo
Continuidad lateral	Extensión del manto entre frentes o perforaciones correlacionadas
Variaciones de espesor	Cambios en el espesor útil entre distintos puntos
Interrupciones estructurales	Presencia de fallas, desplazamientos o discontinuidades

Distribución de propiedades físicas

En pequeña minería, esta representación debe basarse en la información levantada en frentes, perforaciones y topografía disponible, asegurando coherencia entre los datos estructurales y el comportamiento observado del manto de carbón. El modelo debe reflejar los siguientes aspectos, los cuales se detallan en la **Tabla 4-36**.

Tabla 4-36

Distribución de propiedades físicas y dominios de calidad del manto

Dominio o condición identificada	Características principales	Implicación técnica
Sectores de mejor calidad	Bajo contenido de cenizas y mayor poder calorífico	Mayor potencial de aprovechamiento
Sectores con intercalaciones	Incremento de cenizas asociado a material estéril	Reducción del espesor útil explotable
Variaciones en azufre o humedad	Cambios en parámetros que pueden afectar comercialización	Requiere control y verificación adicional
Sectores con comportamiento variable	Diferencias significativas entre puntos cercanos	Necesitan delimitación y evaluación específica



Al relacionar esta información con la continuidad y el espesor útil del manto, es posible reconocer áreas relativamente homogéneas y establecer criterios técnicos para priorizar su explotación.

4.2.6.3. Representación aplicativa del modelo geológico

Tabla 4-37

Matriz de interpretación del modelo geológico en pequeña minería de carbón.

Zona evaluada	Continuidad del manto	Espesor útil	Calidad del carbón	Interpretación preliminar
zona central	Continua	1.5 – 1.8 m	Baja ceniza / Alto poder calorífico	Sector favorable para explotación
zona con falla	Discontinuidad local	0.8 – 1.2 m	Calidad variable	Requiere verificación adicional
zona con intercalaciones	Continua	1.2 m (con partings)	Mayor contenido de cenizas	Variabilidad moderada

Interpretación de la matriz del modelo geológico

La matriz sintetiza la información obtenida durante la construcción del modelo geológico y facilita la comparación de los diferentes sectores del depósito. Cada uno de sus campos aporta información para evaluar el comportamiento del manto y apoyar la priorización de las labores mineras.

- **Zona evaluada:** sector del depósito delimitado dentro del modelo geológico que presenta características geológicas relativamente homogéneas en cuanto a continuidad, geometría y calidad del carbón.
- **Continuidad del manto:** indica el grado de continuidad lateral del manto de carbón e identifica posibles interrupciones ocasionadas por fallas, pliegues, cambios estructurales o pérdida del carbón.
- **Espesor útil:** corresponde al espesor del carbón potencialmente explotable, determinado después de descontar las intercalaciones estériles u otros materiales que no forman parte del recurso aprovechable.

- **Calidad del carbón:** resume las principales características del carbón obtenidas mediante análisis de laboratorio, tales como contenido de cenizas, poder calorífico, humedad, azufre u otros parámetros relevantes para el proyecto.
- **Interpretación preliminar:** presenta una evaluación técnica inicial del sector analizado, identificando condiciones favorables para la explotación o la necesidad de realizar verificaciones adicionales antes de continuar con el desarrollo minero.

Clasificación semafórica para la interpretación del modelo geológico

Como herramienta de apoyo para la toma de decisiones, los sectores evaluados pueden clasificarse mediante un esquema semafórico que sintetiza las condiciones geológicas observadas:

- **Verde:** sector con continuidad del manto, espesor útil suficiente y calidad del carbón favorable para la explotación.



● **Amarillo:** sector con variaciones geológicas, presencia de intercalaciones o condiciones estructurales que requieren verificación, seguimiento o controles adicionales antes de avanzar.

● **Rojo:** sector con discontinuidades importantes, bajo espesor útil, condiciones estructurales desfavorables o calidad del carbón que limita su aprovechamiento.

Esta clasificación constituye una herramienta de apoyo para la priorización de sectores, la programación de frentes de explotación y la planificación del avance minero. Su aplicación debe complementarse con el análisis técnico del modelo geológico y la información disponible para cada proyecto.

La **Figura 4-13** presenta un ejemplo de la clasificación de diferentes sectores del manto de carbón a partir de la interpretación del modelo geológico.

Figura 4-13

Ejemplo de zonas evaluadas del manto de carbón en frente de mina subterránea.

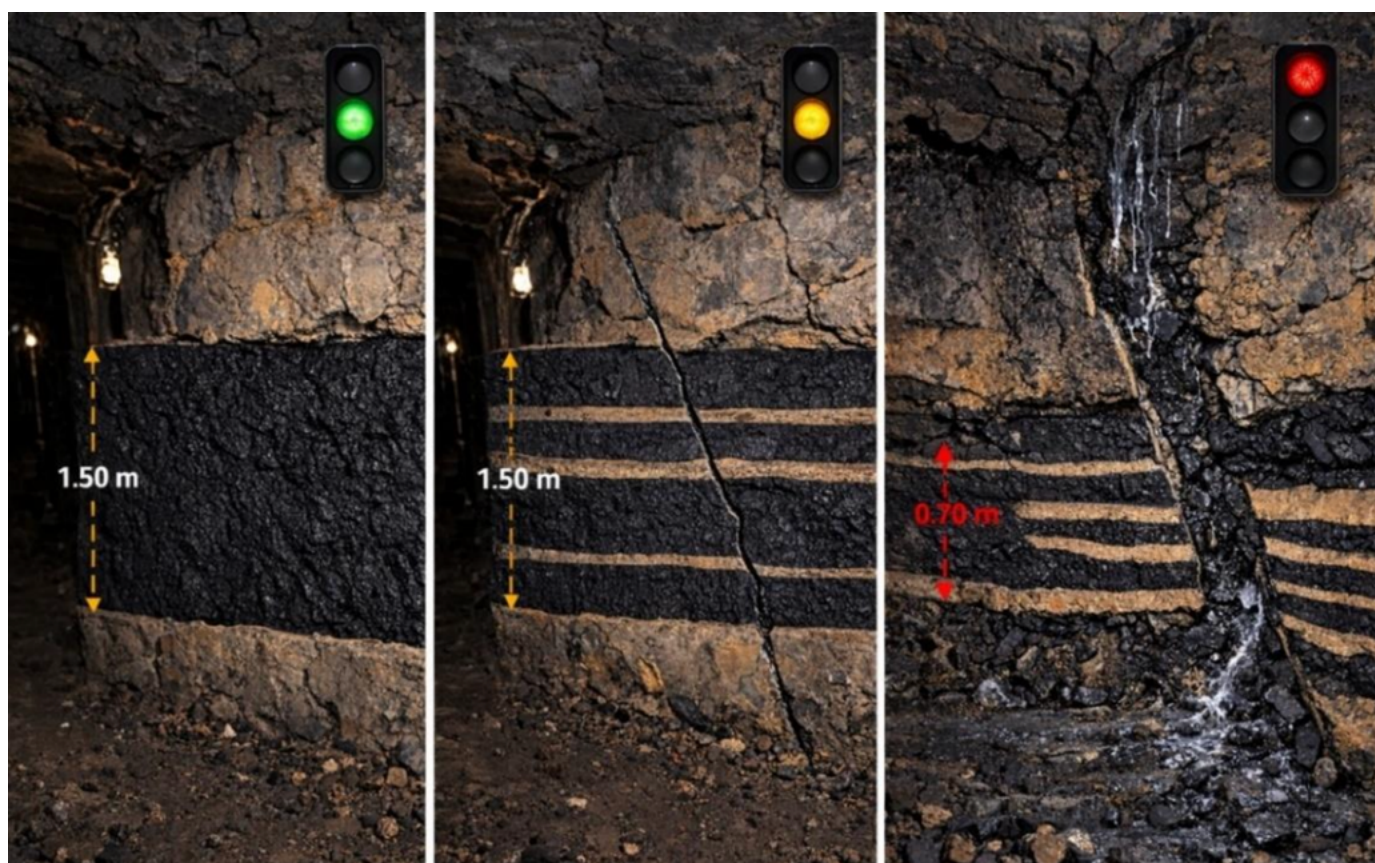
Ejemplo de aplicación de la matriz de interpretación

La aplicación de la matriz y de la clasificación semaforica permite traducir la información del modelo geológico en criterios prácticos para el planeamiento minero. En el ejemplo presentado, la evaluación de los diferentes sectores conduce a la siguiente interpretación:

Zona central: ● Verde. Presenta buena continuidad del manto, espesor útil favorable y condiciones geológicas que la convierten en un sector prioritario para la explotación.

Zona con falla e intercalación: ● Amarillo. Requiere verificar la influencia de las estructuras geológicas sobre la continuidad del manto y evaluar su efecto en la planificación de las labores.

Zona con intercalaciones: ● Amarillo. Es necesario controlar el espesor útil y verificar la calidad del carbón antes de definir su incorporación a la secuencia de explotación.



Este ejercicio evidencia cómo el modelo geológico constituye una herramienta para transformar la información técnica en decisiones operativas, permitiendo establecer prioridades de explotación, optimizar la programación de frentes y reducir la incertidumbre durante el planeamiento minero.

El nivel de detalle del modelo geológico y la información requerida para su elaboración dependen de la figura de formalización bajo la cual se desarrolla el proyecto minero. En consecuencia, los productos geológicos mínimos y el grado de conocimiento esperado pueden variar de acuerdo con los requisitos técnicos y normativos aplicables.

La **Tabla 4-38** resume el alcance de la información geológica requerida según cada figura de formalización.

Tabla 4-38

Nivel de información geológica y productos esperados según figura de formalización.

Figura de formalización	Instrumento técnico asociado	Nivel de información geológica esperado	Productos geológicos mínimos	Objetivo dentro del proceso
Contrato de concesión minera	Programa de Trabajos y Obras (PTO)	Nivel técnico completo acorde con el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR)	Geología regional, geología local, caracterización del depósito, exploración directa y muestreo con QA/QC, modelo geológico del depósito, estimación de recursos y evaluación geotécnica	Sustentar técnica y económicamente el proyecto minero y permitir la planeación de la explotación
Subcontrato de formalización minera	Anexo técnico del subcontrato	Nivel técnico intermedio suficiente para caracterizar el depósito y sustentar la operación	Geología regional básica, geología local del área de trabajo, caracterización del depósito, exploración directa mediante frentes, apiques o trincheras, muestreo representativo y estimación preliminar de recursos	Validar técnicamente el depósito y respaldar la operación minera formalizada
Áreas de Reserva Especial (ARE)	Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD)	Nivel técnico progresivo orientado inicialmente al reconocimiento y caracterización del área	Geología regional del área, geología local preliminar, caracterización básica del depósito, identificación de mantos o niveles carboníferos, muestreo exploratorio	Sustentar técnicamente la delimitación del área y orientar el proceso de formalización de mineros tradicionales
Devolución de área para formalización	Documento técnico de soporte para formalización	Nivel técnico básico que permita justificar el potencial del área	Geología regional simplificada, identificación de unidades portadoras de carbón, reconocimiento geomorfológico y evidencia preliminar de mantos explotables	Justificar técnicamente el potencial del área destinada a formalización

Esta síntesis permite relacionar las figuras de formalización con el alcance de la información geológica requerida para sustentar el planeamiento minero.

Lista de chequeo – Modelo Geológico

Esta lista permite verificar que el modelo geológico del manto integra la información levantada en campo antes de avanzar a la estimación de recursos, como se indica en la **Tabla 4-39**.



Tabla 4-39

Lista de chequeo del modelo geológico en pequeña minería de carbón

Para verificar	SÍ	N
Información de frentes, perforaciones y levantamientos integrada	☐	☐
Continuidad del manto interpretada entre puntos evaluados	☐	☐
Espesor útil correlacionado entre frentes o puntos de observación	☐	☐
Estructuras geológicas consideradas en el modelo	☐	☐
Variaciones de espesor identificadas	☐	☐
Resultados de laboratorio asociados a los puntos de muestreo incorporados al modelo	☐	☐
Sectores del depósito con características similares de espesor y calidad identificados	☐	☐
Zonas con información limitada identificadas	☐	☐
Representación gráfica de la modelo elaborada	☐	☐

4.2.6.4. Resultados esperados

El modelo geológico debe generar los siguientes resultados técnicos dentro del área del proyecto, los cuales se presentan en la **Tabla 4-40**.

Tabla 4-40

Resultados esperados del modelo geológico en pequeña minería

Resultado del modelo	Alcance técnico
Representación geométrica	Definir continuidad, buzamiento y variaciones de espesor
Espesor útil promedio	Determinar espesores útiles por sector correlacionado
Delimitación del área sustentada	Identificar sectores con información comprobada
Integración de calidad	Asociar parámetros de laboratorio al espesor útil
Identificación de zonas similares	Reconocer áreas con comportamiento geológico y calidad similares
Soporte para estimación	Sustentar técnicamente la estimación del recurso

Estos resultados constituyen el soporte técnico mínimo requerido para avanzar hacia la estimación del recurso en pequeña minería, sin que ello implique la definición de reservas bajo estándares internacionales

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



4.2.6.5. Recomendaciones

Para que el modelo geológico represente adecuadamente el comportamiento del manto de carbón, se deben aplicar los siguientes criterios técnicos, definidos en la Tabla 4-41.

Tabla 4-41

Recomendaciones para la construcción del modelo geológico

Aspecto del modelo	Recomendación técnica
Integración de información	Integrar y revisar toda la información disponible antes de delimitar zonas con potencial explotable.
Continuidad del manto	Comparar espesores útiles entre frentes o perforaciones antes de asumir continuidad del manto.
Espesores	Diferenciar claramente el espesor bruto del espesor útil en los registros de campo.
Estructuras geológicas	Identificar y documentar fallas, pliegues, desplazamientos o cambios estructurales que afecten la continuidad.
Calidad del carbón	Incorporar los resultados de laboratorio en la interpretación del espesor útil y la calidad del manto.
Extensión del manto	No asumir continuidad o calidad del manto en zonas donde no exista información directa de campo.
Información limitada	Identificar y señalar las zonas donde la información disponible sea insuficiente

La aplicación de estas recomendaciones fortalece la confiabilidad del modelo y reduce el riesgo de sobreestimar el comportamiento del manto dentro del área del proyecto.

4.2.7. Estimación de recursos

La estimación de recursos constituye la etapa en la que la información integrada en el modelo geológico se utiliza para cuantificar, de manera preliminar, el volumen y el tonelaje del carbón contenido en el depósito. Este proceso se fundamenta en la interpretación de la geometría, continuidad, espesor útil y calidad del carbón, utilizando únicamente información geológica técnicamente verificada (ANM y CCRR, 2024).

En las operaciones de pequeña minería, la estimación de recursos proporciona una base técnica para el planeamiento minero, permitiendo identificar el

potencial del depósito y apoyar la toma de decisiones relacionadas con la secuencia de explotación y el desarrollo de las labores mineras.

Para la estimación se consideran, entre otros aspectos, el área delimitada del depósito, el espesor útil promedio y, cuando se disponga de esta información, la densidad del carbón.

En pequeña minería, este proceso permite:

- Estimar el volumen del carbón potencialmente explotable.
- Convertir el volumen estimado en tonelaje mediante el uso de la densidad del carbón.
- Comparar el potencial de diferentes sectores del depósito.
- Reducir la incertidumbre, evitando sobreestimar el recurso mediante el uso exclusivo de información geológica verificada.



Una estimación sustentada en información confiable constituye la base para elaborar un planeamiento minero técnicamente consistente y favorece una utilización racional del recurso mineral.

La **Figura 4-14** presenta los principales componentes considerados durante la estimación de recursos de carbón.

Figura 4-14

Componentes de la estimación de recursos de carbón



4.2.7.1. Enfoques aplicables para la estimación de recursos

La estimación de recursos puede desarrollarse mediante dos enfoques, cuyo nivel de detalle depende del grado de conocimiento geológico del depósito y de la etapa de desarrollo del proyecto minero. Ambos enfoques responden a momentos diferentes dentro del proceso de formalización y no deben entenderse como metodologías excluyentes, sino como etapas progresivas de maduración del proyecto.

Enfoque 1. Estimación preliminar de recursos

Este enfoque corresponde a la etapa inicial del proyecto y tiene como propósito obtener una primera estimación técnica del recurso disponible a partir de la información geológica recopilada, sin efectuar la clasificación formal establecida por el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR).

Se recomienda aplicar este enfoque cuando:

- El proyecto se encuentra en una fase inicial de exploración o evaluación.
- La información geológica disponible aún es limitada.
- Se requiere sustentar técnicamente el planeamiento inicial del proyecto.
- Aún no corresponde presentar la estimación conforme al ECRR.
- En este enfoque:
- El recurso se expresa en volumen (m³) o tonelaje (t).
- No se clasifica en recursos medidos, indicados o inferidos.
- No se aplican factores modificadores para la estimación de reservas.

Los resultados tienen carácter preliminar y están sujetos a actualización conforme se incorpore nueva información geológica.



Enfoque 2. Estimación de recursos conforme al ECRR

Este enfoque corresponde a una etapa de mayor madurez del proyecto, en la cual la información geológica disponible permite realizar la estimación y clasificación formal de recursos de acuerdo con el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR).

Se recomienda aplicar este enfoque cuando:

- Existe una mayor densidad de información geológica.
- El proyecto avanza en su proceso de formalización minera.
- Se requiere cumplir con los plazos y requisitos normativos establecidos.
- Se dispone de procedimientos robustos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC).

En este enfoque, los recursos pueden clasificarse según el nivel de confianza geológica de la información disponible:

Recurso Medido: presenta alta continuidad geológica comprobada, espaciamiento reducido entre los datos y un bajo nivel de incertidumbre.

Recurso Indicado: presenta continuidad geológica razonablemente demostrada y suficiente información para sustentar la interpretación del depósito.

Recurso Inferido: corresponde a sectores donde la información geológica es limitada y la continuidad del depósito se interpreta con un mayor grado de incertidumbre.

4.2.7.2. Validación perspectivas razonables de explotación

Antes de utilizar la información del modelo geológico para la estimación de recursos, es recomendable verificar que el depósito presente condiciones que permitan prever su posible aprovechamiento minero. Esta evaluación considera, entre otros aspectos, la continuidad del manto, el espesor útil, la calidad del carbón y las condiciones geológicas que pueden influir en la viabilidad técnica de la explotación.

La validación de las perspectivas razonables de explotación constituye una evaluación preliminar basada en la información geológica disponible y no corresponde a una clasificación formal de recursos o reservas conforme al Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR). Su propósito es respaldar la estimación de recursos y orientar el planeamiento minero mediante la identificación de sectores con mejores condiciones para el aprovechamiento del depósito.

Los principales criterios para esta evaluación se presentan en la **Tabla 4-42**.

Tabla 4-42 Evaluación geológica de perspectivas razonables de explotación

Clasificación	Interpretación geológica	Perspectivas razonables de explotación	Acción recomendada
 Verde	El manto presenta continuidad geológica, espesor útil suficiente y calidad del carbón favorable para la explotación.	La información geológica disponible permite considerar que existen perspectivas razonables de explotación.	Avanzar hacia la estimación de recursos y el desarrollo del planeamiento minero.
 Amarillo	Se identifican variaciones geológicas, intercalaciones o condiciones estructurales que generan incertidumbre en la interpretación del depósito.	Las perspectivas razonables de explotación requieren validación mediante información geológica complementaria.	Realizar exploración adicional, verificar el modelo geológico o fortalecer los procedimientos de QA/QC antes de continuar con la estimación.
 Rojo	El depósito presenta discontinuidades importantes, bajo espesor útil, calidad desfavorable u otras condiciones que limitan su aprovechamiento.	Con la información disponible no se evidencian perspectivas razonables de explotación.	No priorizar la explotación del sector evaluado y considerar la obtención de información adicional únicamente si existen fundamentos geológicos que lo justifiquen.



La validación de las perspectivas razonables de explotación constituye una etapa de apoyo para el planeamiento minero, al facilitar la integración de la información geológica con los criterios técnicos que orientan la estimación de recursos. Esta evaluación permite identificar los sectores con mayor potencial para el aprovechamiento del depósito, priorizar las actividades de exploración y desarrollo, y reducir la incertidumbre asociada a la toma de decisiones, evitando destinar esfuerzos e inversiones a áreas que, con la información disponible, no presentan condiciones favorables para su explotación.

Ejemplo de aplicación

El siguiente ejemplo ilustra la aplicación de los criterios para la validación de las perspectivas razonables de explotación en un sector de un depósito de carbón evaluado durante la caracterización geológica. La **Tabla 4-43** presenta una evaluación simplificada basada en las principales variables geológicas consideradas en esta guía.

La evaluación evidencia que el sector presenta condiciones geológicas favorables para el desarrollo del proyecto, ya que el manto mantiene una adecuada continuidad y un espesor útil suficiente para su aprovechamiento. Aunque se identifican algunas variaciones relacionadas con la calidad del carbón y una condición estructural localizada, estas no representan, con la información disponible, una limitación significativa para la continuidad de los trabajos.

En consecuencia, el sector presenta perspectivas razonables de explotación, por lo que constituye un área prioritaria para continuar con el modelamiento geológico, la estimación preliminar de recursos y las etapas posteriores del planeamiento minero.

Una vez verificadas las perspectivas razonables de explotación, la información integrada en el modelo geológico puede utilizarse para realizar la estimación de recursos, aplicando los procedimientos y criterios técnicos definidos para cuantificar el volumen y el tonelaje del carbón contenido en el depósito.

Tabla 4-43

Ejemplo aplicado de evaluación de perspectivas razonables de explotación.

Criterio geológico evaluado	Descripción	Clasificación
Espesor útil del manto	Espesor promedio de 1,5 m, sin intercalaciones estériles significativas.	 Verde
Continuidad del manto	Correlación geológica consistente entre tres frentes de explotación cercanos.	 Verde
Calidad del carbón	Contenido moderado de cenizas y poder calorífico favorable para su aprovechamiento.	 Amarillo
Condición estructural	Presencia de una fractura local sin desplazamiento significativo del manto.	 Amarillo



4.2.7.3. Alcance de la estimación de recursos en pequeña minería

En las operaciones de pequeña minería, la estimación de recursos debe sustentarse en información geológica obtenida mediante actividades de exploración, caracterización del depósito, muestreo y construcción del modelo geológico. Su propósito es realizar una cuantificación preliminar del volumen y del tonelaje del carbón contenido en el depósito, utilizando únicamente información técnicamente verificada y representativa del área evaluada.

El alcance de esta etapa comprende la delimitación del área del depósito, la determinación del espesor útil, la aplicación de la densidad del carbón, cuando esta información se encuentre disponible, y la estimación preliminar del recurso con base en criterios técnicos consistentes. Asimismo, permite identificar el potencial de los diferentes sectores del depósito y proporcionar información de soporte para el planeamiento minero.

Los principales aspectos que comprende la estimación de recursos en operaciones de pequeña minería se presentan en la **Tabla 4-44**.

Tabla 4-44

Alcance de la estimación de recursos en pequeña minería

Criterio de estimación	Aplicación técnica
Espesor considerado	Utilizar únicamente el espesor útil del manto
Área incluida	Considerar únicamente sectores donde la continuidad esté verificada
Densidad	Incorporar la densidad del carbón cuando se disponga de este dato comprobado
Sectores diferenciados	Separar áreas donde existan cambios relevantes en espesor o calidad

No se requiere aplicar herramientas complejas de modelamiento, pero sí efectuar cálculos claros y sustentados en información documentada y verificable.

4.2.7.4. Componente de la estimación de recursos

La estimación de recursos integra la información obtenida durante las etapas de exploración, caracterización del depósito, muestreo y construcción del modelo geológico, con el fin de cuantificar de manera preliminar el volumen y el tonelaje del carbón contenido en el área evaluada.

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, el proceso debe fundamentarse en información geológica técnicamente verificada, considerando variables como la delimitación del depósito, el espesor útil, la continuidad del manto, la densidad del carbón y los parámetros empleados para el cálculo del recurso.

Los principales componentes que intervienen en la estimación preliminar de recursos se presentan en la **Tabla 4-45**.



Tabla 4-45

Componentes de la estimación de recursos y su aplicabilidad en pequeña minería.

Componente	Descripción	Aplicación en pequeña minería
Área del manto	Superficie delimitada con continuidad comprobada	Permite calcular volumen preliminar
Espesor útil	Espesor realmente aprovechable	Evita sobreestimación
Densidad del carbón	Peso específico del carbón in situ	Permite convertir volumen en toneladas
Calidad del carbón	Resultados analíticos relevantes	Permite diferenciar recursos según calidad
Factor de incertidumbre	Reconocimiento de zonas con menor información	Permite identificar áreas de mayor riesgo

Para realizar la estimación preliminar de recursos es necesario planificar previamente la información que será utilizada en los cálculos, verificando que el modelo geológico cuente con los datos mínimos requeridos sobre la geometría del yacimiento, el espesor de los mantos y las propiedades del carbón. La siguiente herramienta orienta la planeación de este proceso, definiendo las actividades necesarias para obtener una estimación técnicamente sustentada del recurso mineral, como se presenta en la **Tabla 4-46**.

Tabla 4-46

Protocolo práctico para planear la estimación de recursos

Etapas	Actividades
1. Delimitación del área del recurso	• Delimitar el área del depósito que será considerada para la estimación, utilizando únicamente sectores con continuidad geológica comprobada. • Verificar que la delimitación se encuentre sustentada en el modelo geológico y en información geológica validada.
2. Determinación del espesor útil	• Determinar el espesor útil promedio de cada sector homogéneo del depósito. • Diferenciar el espesor bruto del espesor útil, excluyendo las intercalaciones estériles que no formen parte del recurso explotable.
3. Estimación del volumen	• Calcular el volumen del recurso utilizando el área delimitada y el espesor útil promedio. • Verificar que los parámetros empleados sean consistentes con el modelo geológico.
4. Estimación del tonelaje	• Aplicar la densidad del carbón obtenida mediante ensayos de laboratorio o, cuando esta no se encuentre disponible, utilizar un valor técnico debidamente justificado. • Convertir el volumen estimado en toneladas de carbón.
5. Evaluación de la confiabilidad de la estimación	• Evaluar el grado de continuidad geológica, el control estructural y la calidad de la información utilizada. • Identificar las principales fuentes de incertidumbre y documentar los supuestos considerados durante la estimación. • Definir el nivel de confianza de la estimación de acuerdo con la información geológica disponible.



Procedimiento para la estimación preliminar de recursos

La estimación preliminar del recurso debe realizarse utilizando exclusivamente la información correspondiente a sectores del depósito con continuidad geológica comprobada dentro del modelo geológico. El procedimiento comprende el cálculo del volumen del carbón y su conversión a tonelaje mediante la aplicación de la densidad del material.

▪ Cálculo del volumen

El volumen del carbón se determina mediante la siguiente expresión:

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \text{Área (m}^2\text{)} \times \text{Espesor útil (m)}$$

Para este cálculo, el espesor útil deberá excluir las intercalaciones estériles y otros materiales que no formen parte del recurso potencialmente explotable.

▪ Conversión del volumen a tonelaje

El tonelaje estimado se obtiene aplicando la densidad del carbón al volumen previamente calculado:

$$\text{Toneladas (t)} = \text{Volumen (m}^3\text{)} \times \text{Densidad (t/m}^3\text{)}$$

La densidad corresponde al peso del carbón por unidad de volumen en condiciones naturales del depósito.

Para operaciones de pequeña minería se recomienda:

- Determinar la densidad mediante ensayos de laboratorio, siempre que sea posible.
- Cuando no se disponga de esta información, utilizar un valor técnico de referencia comprendido entre 1,30 y 1,45 t/m³, indicando expresamente el valor adoptado y su justificación.
- Aplicar valores de densidad específicos para cada sector homogéneo definido en el modelo geológico, cuando la información disponible lo permita.

▪ Evaluación del nivel de confianza

La estimación deberá indicar el nivel de confianza asociado a la información geológica utilizada, considerando aspectos como:

- Continuidad del depósito.
- Densidad y distribución de la información disponible.
- Correlación entre frentes de explotación, afloramientos o perforaciones.
- Grado de validación del modelo geológico.

De manera orientativa, la estimación podrá sustentarse en:

- **Información preliminar**, cuando la continuidad geológica se basa en un número limitado de observaciones.
- **Información con mayor nivel de confianza**, cuando existe correlación entre diferentes frentes, labores mineras o perforaciones y la continuidad del depósito ha sido verificada.

Esta clasificación tiene un propósito exclusivamente técnico para apoyar el planeamiento minero y no corresponde a una clasificación formal de recursos conforme al Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR).

Recomendaciones para la estimación de recursos

Durante la estimación preliminar de recursos se recomienda:

- utilizar únicamente información geológica técnicamente verificada.
- no aplicar factores de recuperación minera en esta etapa.
- evitar extrapolar el recurso hacia sectores donde no exista control geológico suficiente.
- estimar de manera independiente los sectores que presenten diferencias significativas en continuidad, espesor útil o calidad del carbón.
- documentar los criterios, supuestos y parámetros utilizados durante la estimación.



La estimación obtenida constituye una base técnica para el planeamiento minero y no representa una clasificación formal de recursos o reservas bajo el Estándar Colombiano de Recursos y Reservas (ECRR).

Herramienta para la estimación preliminar de recursos

La estimación preliminar del recurso puede organizarse mediante un formato que consolide la información geológica de cada sector homogéneo definido en el modelo geológico. Esta herramienta facilita el cálculo estructurado del volumen y del tonelaje estimado, garantizando la trazabilidad de la información utilizada.

La **Tabla 4-47** presenta un formato de apoyo para el registro y cálculo del recurso estimado por sector homogéneo.



Tabla 4-47

Cálculo del recurso estimado por sector

Sector	Área con continuidad verificada (m ²)	Espesor útil promedio (m)	Densidad adoptada (t/m ³)	Volumen (m ³)	Toneladas estimadas (t)	Nivel de confianza

El diligenciamiento sistemático de este formato permite documentar de manera uniforme las estimaciones realizadas en cada sector del depósito, facilitando la comparación entre áreas, la verificación de los resultados y la actualización de la información conforme se incorporen nuevos datos geológicos.

Interpretación de los campos del formato

El formato reúne la información mínima necesaria para realizar una estimación preliminar del recurso en cada uno de los sectores homogéneos definidos en el modelo geológico. El correcto diligenciamiento de cada campo garantiza la trazabilidad de los cálculos y facilita la verificación de los resultados obtenidos.

- **Sector:** corresponde a la unidad o zona homogénea definida en el modelo geológico sobre la cual se realizará la estimación del recurso.
- **Área con continuidad verificada (m²):** superficie del depósito donde la continuidad del manto ha sido comprobada mediante la información geológica disponible. No deben incluirse áreas extrapoladas ni sectores cuya continuidad no haya sido validada.
- **Espesor útil promedio (m):** espesor promedio del carbón potencialmente explotable, calculado excluyendo las intercalaciones estériles y otros materiales que no forman parte del recurso aprovechable.
- **Densidad adoptada (t/m³):** densidad utilizada para convertir el volumen estimado en tonelaje. Se recomienda emplear valores obtenidos mediante ensayos de laboratorio; cuando no se disponga de esta información, deberá justificarse técnicamente el valor adoptado.



- **Volumen (m³):** resultado obtenido al multiplicar el área con continuidad verificada por el espesor útil promedio.
- **Toneladas estimadas (t):** cantidad estimada de carbón obtenida al multiplicar el volumen por la densidad adoptada.
- **Nivel de confianza:** evaluación cualitativa del grado de confiabilidad de la estimación, considerando la continuidad del manto, el control estructural, la calidad de la información geológica y el nivel de validación del modelo geológico.

El diligenciamiento sistemático de este formato permite documentar de manera uniforme las estimaciones realizadas en cada sector del depósito, facilitando la comparación entre áreas, la verificación de los resultados y la actualización de la información conforme se incorporen nuevos datos geológicos.

Tabla 4-48

Interpretación de la estimación de recursos para el planeamiento minero

Resultado	Interpretación técnica	Acción recomendada
Alto volumen + continuidad estable	Sector favorable	Priorizar explotación
Volumen medio + variabilidad estructural	Riesgo moderado	Explotar con control
Bajo volumen o alta incertidumbre	Baja confianza	Requiere mayor verificación

Clasificación del recurso

El recurso estimado puede clasificarse según el nivel de información disponible:

- **Inferido:** continuidad interpretada con información limitada.
- **Indicado:** continuidad verificada entre puntos correlacionados.
- **Medido:** continuidad y calidad definidas con alta densidad de información.

La conversión a reserva corresponde a la etapa de planeamiento minero y se desarrolla en el capítulo respectivo.

Interpretación de la estimación para el planeamiento minero

Una vez estimado el recurso para cada sector homogéneo, es recomendable interpretar los resultados considerando el nivel de confianza de la información geológica y la continuidad del depósito. Esta evaluación permite priorizar las áreas con mayor potencial para la explotación, identificar sectores que requieren información complementaria y orientar la programación de las labores mineras.

La **Tabla 4-48** presenta una herramienta de apoyo para la interpretación de los resultados de la estimación de recursos en función del nivel de confianza y de las condiciones geológicas del depósito.

4.2.7.5. Resultados de la estimación del recurso

La estimación de recursos debe permitir obtener los siguientes resultados técnicos dentro del área evaluada los cuales se presentan en la **Tabla 4-49**.



Tabla 4-49

Resultados esperados de la estimación del recurso.

Resultado	Alcance técnico
Volumen estimado	Determinar el volumen aproximado de carbón contenido en cada zona delimitada
Toneladas estimadas	Convertir el volumen en toneladas utilizando la densidad adoptada
Diferenciación de sectores	Identificar zonas con mayor o menor continuidad y espesor útil
Identificación de incertidumbre	Reconocer áreas donde se requiera mayor información geológica
Base para planificación	Servir como insumo técnico para orientar la secuencia de explotación y la programación de labores

El cálculo debe realizarse por cada zona delimitada en el modelo geológico, evitando promediar sectores con comportamientos distintos.

Lista de chequeo – Estimación de recursos

Esta lista permite verificar que la estimación cuenta con el soporte técnico mínimo antes de avanzar a decisiones de planificación.

Si alguno de estos puntos no está completo, la estimación no puede considerarse técnicamente sustentada. Antes de cerrar la evaluación, verificar, como se indica en la **Tabla 4-50**.



Tabla 4-50

Lista de chequeo estimación de recursos

verificar	SÍ	NO
Área delimitada con base en datos comprobados	☐	☐
Espesor útil del carbón identificado y diferenciado del espesor total del manto	☐	☐
Método volumétrico aplicado correctamente	☐	☐
Conversión a toneladas mediante densidad representativa	☐	☐
Nivel de confianza definido y justificado	☐	☐
Supuestos y limitaciones documentadas	☐	☐



Para ampliar los procedimientos relacionados con la exploración, el modelamiento geológico y la estimación de recursos y reservas de carbón, se recomienda consultar la Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Carbón de la Agencia Nacional de Minería (ANM).

4.2.7.6. Recomendaciones

Para asegurar que la estimación del recurso sea técnicamente consistente y proporcional a la información disponible, se deben aplicar los siguientes criterios, definidos en la **Tabla 4-51**.



Tabla 4-51

Recomendaciones para la estimación del recurso en pequeña minería

Aspecto	Recomendación técnica
Delimitación del área	Delimitar el área estimada exclusivamente con base en información geológica correlacionada y verificada en campo
Espesor utilizado	Utilizar espesor útil promedio por zona, diferenciándolo claramente del espesor bruto
Continuidad	Verificar continuidad lateral y control estructural antes de consolidar el cálculo volumétrico
Método de cálculo	Aplicar método volumétrico simple ($\text{Área} \times \text{Espesor útil}$), evitando extrapolaciones sin respaldo técnico
Densidad	Convertir el volumen a toneladas empleando una densidad técnicamente sustentada (ensayo o valor referencial justificado)
Supuestos	Documentar claramente los supuestos y limitaciones de la estimación
Nivel de confianza	Diferenciar zonas con distinto nivel de confianza según la densidad de información disponible
Recuperación minera	No aplicar factores de recuperación minera en la etapa de estimación de recursos

Ejemplo de aplicación

El siguiente ejemplo ilustra la aplicación del procedimiento de estimación preliminar de recursos para un sector homogéneo definido a partir del modelo geológico.



Durante la evaluación de un depósito de carbón se identifica un sector continuo con un área de **2 hectáreas (20.000 m²)** y un espesor útil promedio de 1,5 m. Con base en esta información, se realiza la estimación preliminar del volumen del recurso mediante la siguiente expresión:

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{Espesor útil}$$
$$\text{Volumen} = 20.000 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ m} = 30.000 \text{ m}^3$$

Posteriormente, el volumen obtenido se convierte a tonelaje utilizando una densidad del carbón de **1,35 t/m³**, determinada a partir de información técnica representativa del depósito:

$$\text{Toneladas} = \text{Volumen} \times \text{Densidad}$$
$$\text{Toneladas} = 30.000 \text{ m}^3 \times 1,35 \text{ t/m}^3 = 40.500 \text{ toneladas}$$

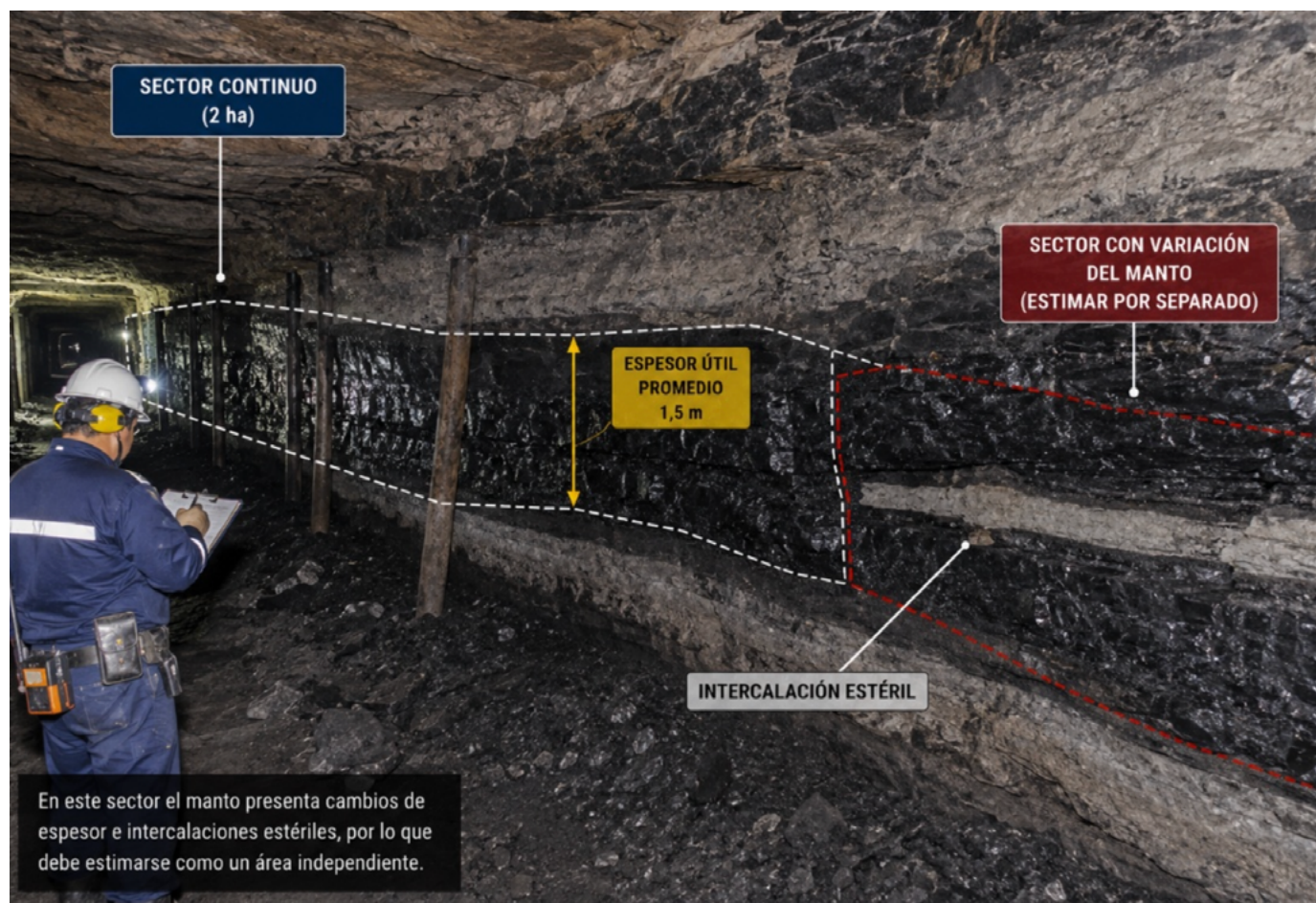
Durante la interpretación del modelo geológico se identifica un segundo sector donde el espesor útil disminuye, aumenta la presencia de intercalaciones estériles y se observan variaciones en la calidad del carbón. Debido a estas diferencias geológicas, este sector se estima de manera independiente, evitando integrar en un mismo cálculo áreas con características distintas.

Este procedimiento permite obtener una estimación más representativa del recurso disponible y constituye una base técnica para el planeamiento minero, la programación de las labores y la definición preliminar del método de explotación.

Nota técnica: la estimación presentada corresponde a un ejercicio preliminar elaborado con base en la información geológica disponible y el modelo geológico del proyecto. La clasificación formal de recursos y reservas deberá realizarse conforme a los lineamientos técnicos vigentes establecidos por la Agencia Nacional de Minería en la Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Carbón (ECRR).

Figura 4-15

Ejemplo ilustrativo de la delimitación de sectores para la estimación preliminar de recursos en una labor subterránea de carbón



La **Figura 4-15** ilustra la delimitación de sectores homogéneos dentro del depósito de carbón a partir de la información integrada en el modelo geológico. Se observa un sector con continuidad geológica y espesor útil relativamente uniforme, susceptible de ser estimado como una única unidad de cálculo, y otro donde las variaciones en el espesor, la presencia de intercalaciones estériles y las diferencias en la calidad del carbón requieren realizar una estimación independiente.

La diferenciación de estos sectores mejora la representatividad de la estimación, reduce la incertidumbre asociada a la cuantificación del recurso y proporciona una base técnica más confiable para el planeamiento minero y la toma de decisiones durante el desarrollo de la explotación.

4.2.8. Estudio geotécnico

El estudio geotécnico tiene como propósito evaluar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso que rodea el manto de carbón en labores subterráneas. A partir de la observación del techo, el piso y las rocas encajantes, se identifican factores que pueden influir en la seguridad durante el avance de galerías y frentes.

Este análisis integra la información obtenida en campo sobre fracturamiento, presencia de fallas, planos de debilidad, competencia de la roca y condiciones de humedad. Con ello se busca comprender el comportamiento del macizo durante la excavación y explotación.

En pequeña minería subterránea, el estudio geotécnico permite:

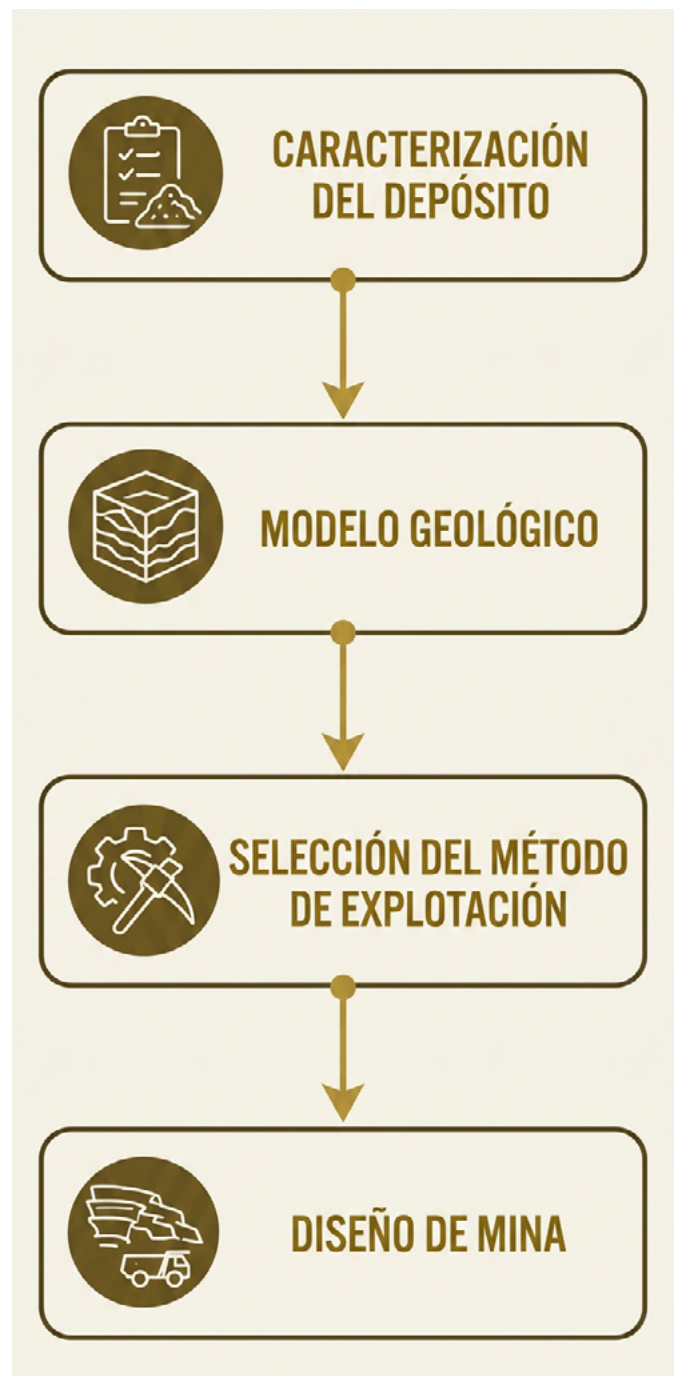
- Reconocer zonas con mayor riesgo de caída de techo.
- Identificar sectores donde el piso pueda presentar inestabilidad.
- Definir necesidades básicas de sostenimiento. Ajustar el avance de las labores según las condiciones reales del macizo. Cuando esta in-

formación se analiza de manera sistemática, se reducen riesgos operativos y se fortalecen las condiciones de seguridad en la mina.

Cuando esta información se analiza de manera sistemática, se reducen riesgos operativos y se fortalecen las condiciones de seguridad en la mina.

Figura 4-16

Aspectos evaluados en el estudio geotécnico



4.2.8.1. Alcance en pequeña minería

En pequeña minería subterránea de carbón, la evaluación geotécnica se basa principalmente en observaciones directas y en el registro sistemático de las condiciones del macizo rocoso durante el avance de las labores. Este análisis permite identificar factores que pueden afectar la estabilidad del techo, el piso y las paredes de la excavación.

En pequeña minería subterránea de carbón, la evaluación geotécnica se basa principalmente en observaciones directas del macizo rocoso realizadas durante el avance de las labores. En la **Tabla 4-52** se presentan los principales aspectos que deben evaluarse y su implicación en la operación minera.

Tabla 4-52

principales aspectos que deben evaluarse y su implicación en la operación minera

Aspecto evaluado	Qué se debe observar	Acción recomendada en la operación
Techo y piso	Evaluar mediante observación directa el estado del techo y del piso del manto	Instalar sostenimiento cuando se observen fracturas o material suelto
Discontinuidades	Identificar fracturas, fallas y planos de estratificación	Ajustar el avance y reforzar sostenimiento
Competencia del macizo	Reconocer cambios en la resistencia del macizo rocoso	Adaptar sostenimiento y tamaño de las labores
Presencia de agua	Verificar zonas con humedad o filtraciones	Implementar drenaje y monitorear estabilidad
Sostenimiento	Definir criterios básicos según las condiciones observadas	Aplicar sostenimiento oportuno y realizar seguimiento

Las condiciones observadas en campo permiten identificar factores que pueden afectar la estabilidad de las labores subterráneas. Con base en esta información, el estudio geotécnico analiza algunos componentes del macizo rocoso que ayudan a orientar las decisiones de sostenimiento y seguridad durante la explotación.

4.2.8.2. Componentes del estudio geotécnico en labores subterráneas de carbón

El estudio geotécnico permite evaluar las condiciones del macizo rocoso que rodea el manto de carbón y reconocer factores que pueden afectar la estabilidad de las labores subterráneas. En pequeña minería, esta evaluación se realiza principalmente mediante observaciones directas y registros de campo durante el avance de la explotación.

Los principales componentes que deben considerarse en la evaluación geotécnica y su utilidad para la operación minera se presentan en la **Tabla 4-53**.



Tabla 4-53

Componentes del estudio geotécnico en pequeña minería subterránea.

Componente	Descripción	Aplicación en pequeña minería
Techo	Tipo de roca y grado de fracturamiento sobre el manto de carbón	Permite definir necesidades de sostenimiento y prevenir desprendimientos
Piso	Competencia del material y presencia de zonas blandas o húmedas	Permite evaluar la estabilidad de la base de trabajo
Discontinuidades	Presencia de fracturas, fallas o planos de debilidad	Permite identificar zonas con mayor riesgo de inestabilidad
Condiciones de agua	Filtraciones, humedad o presencia de agua en techo y paredes	Permite prevenir debilitamiento del macizo y problemas de estabilidad
Sostenimiento	Elementos utilizados para estabilizar la labor (madera, pernos, marcos, entre otros)	Permite controlar riesgos durante el avance de las labores

La evaluación geotécnica constituye un insumo fundamental para el planeamiento de las labores subterráneas, ya que permite identificar las condiciones del macizo rocoso, evaluar su comportamiento y definir las medidas necesarias para desarrollar la explotación en condiciones de estabilidad y seguridad.

Esta evaluación integra la caracterización del techo y el piso del manto, el reconocimiento de discontinuidades, las condiciones hidrogeológicas y la identificación de factores que pueden afectar la estabilidad de las labores. Los resultados obtenidos proporcionan la información técnica necesaria para definir los requerimientos de sostenimiento y apoyar la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

La **Tabla 4-54** presenta un protocolo práctico para la evaluación geotécnica en labores subterráneas de carbón.

Tabla 4-54

Protocolo práctico para planear la evaluación geotécnica en labores subterránea de carbón.

Etapas	Actividades
1. Caracterización geotécnica del techo y el piso	• Evaluar las condiciones geotécnicas del techo y del piso del manto de carbón. • Identificar el grado de alteración, resistencia y competencia del macizo rocoso. • Registrar las características litológicas que puedan influir en la estabilidad de las labores.
2. Registro de discontinuidades	• Identificar fracturas, fallas, diaclasas, planos de estratificación y demás discontinuidades presentes en el macizo rocoso. • Registrar su orientación, espaciamiento, apertura, persistencia, tipo de relleno y presencia de humedad • Evaluar su influencia sobre la estabilidad de la excavación.



3. Evaluación de las condiciones del frente	• Inspeccionar el frente de explotación para identificar sectores con baja competencia geotécnica o evidencias de inestabilidad • Registrar desprendimientos, deformaciones, grietas u otras manifestaciones que puedan comprometer la seguridad de las labores.
4. Evaluación de las condiciones hidrogeológicas	• Identificar filtraciones, humedades, surgencias o acumulaciones de agua que puedan afectar la estabilidad del macizo rocoso. • Registrar las condiciones hidrogeológicas observadas durante la evaluación.
5. Definición de medidas de control geotécnico	• Evaluar la necesidad de sostenimiento de acuerdo con las condiciones geotécnicas identificadas. • Definir las medidas de control y las recomendaciones técnicas para mantener la estabilidad de las labores. • Documentar la información que servirá de base para el planeamiento minero y el seguimiento geotécnico.

Matriz de priorización geotécnica en labores subterráneas de carbón

La evaluación geotécnica genera información que debe organizarse de manera sistemática para facilitar su interpretación y aplicación durante el planeamiento minero. Una forma práctica de integrar esta información consiste en comparar los diferentes sectores de la mina mediante una matriz que considere las principales condiciones geotécnicas observadas.

Esta herramienta permite identificar sectores con diferentes niveles de estabilidad, priorizar las actividades de sostenimiento y orientar la programación de las labores de explotación.

La **Tabla 4-55** presenta un ejemplo de matriz de priorización geotécnica aplicable a operaciones de pequeña minería subterránea de carbón.

Tabla 4-55

Matriz de priorización geotécnica en pequeña minería subterránea de carbón.

Zona evaluada	Competencia del techo	Condición de discontinuidades	Presencia de agua	Nivel de estabilidad	Acción recomendada
Zona 1	Alta	Baja fracturación	No	● Estable	Avance normal con monitoreo rutinario
Zona 2	Media	Fracturamiento moderado	Local	● Condicionada	Aplicar refuerzo de sostenimiento y aumentar vigilancia
Zona 3	Baja	Alta fracturación o falla cercana	Sí	● Inestable	Intervención prioritaria antes de continuar labores



Interpretación de la matriz

La matriz integra las principales variables geotécnicas observadas durante la evaluación del macizo rocoso y facilita la comparación entre los diferentes sectores de la mina.

- **Zona evaluada:** sector de la labor minera donde el macizo rocoso presenta condiciones geotécnicas relativamente homogéneas.
- **Competencia del techo:** capacidad del techo del manto para mantenerse estable durante el desarrollo de las labores, clasificándose de manera cualitativa como alta, media o baja.
- **Condición de las discontinuidades:** evaluación del grado de fracturamiento del macizo rocoso, considerando la presencia de fracturas, fallas, diaclasas y planos de estratificación que puedan afectar la estabilidad.
- **Presencia de agua:** identifica filtraciones, humedad o acumulaciones de agua que puedan disminuir la resistencia del macizo rocoso y comprometer la estabilidad de las excavaciones.
- **Nivel de estabilidad:** resultado de la evaluación integrada de las condiciones geotécnicas observadas en cada sector.
- **Acción recomendada:** medidas generales de manejo orientadas al desarrollo seguro de las labores, incluyendo el avance normal, el refuerzo del sostenimiento o la intervención previa del sector.

Clasificación tipo semáforo geotécnico

Como herramienta de apoyo para la toma de decisiones, las condiciones geotécnicas pueden representarse mediante una clasificación semaforica que sintetiza el nivel de estabilidad del macizo rocoso.

● **Verde:** condiciones geotécnicas favorables, con macizo rocoso competente y estabilidad adecuada para el desarrollo normal de las labores, manteniendo el monitoreo rutinario.

● **Amarillo:** presencia de condiciones que requieren seguimiento o medidas adicionales de control, como fracturamiento moderado, disminución de la competencia del techo o presencia localizada de agua.

● **Rojo:** condiciones geotécnicas desfavorables que representan un riesgo para la estabilidad de las labores y requieren intervención, sostenimiento adicional o reevaluación antes de continuar la explotación.

La **Tabla 4-56** presenta la clasificación semaforica propuesta para apoyar la interpretación de las condiciones geotécnicas durante el planeamiento y desarrollo de las labores subterráneas.

Tabla 4-56

Clasificación tipo semáforo geotécnico para labores subterráneas de carbón.

Condición	Características observadas	Acción recomendada
● Estable	Techo competente, bajo fracturamiento y ausencia de agua significativa	Continuar labores con los parámetros normales y monitoreo rutinario
● Condicionada	Fracturas moderadas, cambios en la competencia del macizo o humedad localizada	Reforzar sostenimiento, ajustar avance y aumentar monitoreo
● Inestable	Fracturamiento intenso, fallas cercanas o presencia significativa de agua	Suspender avance hasta implementar medidas de control o rediseño del frente

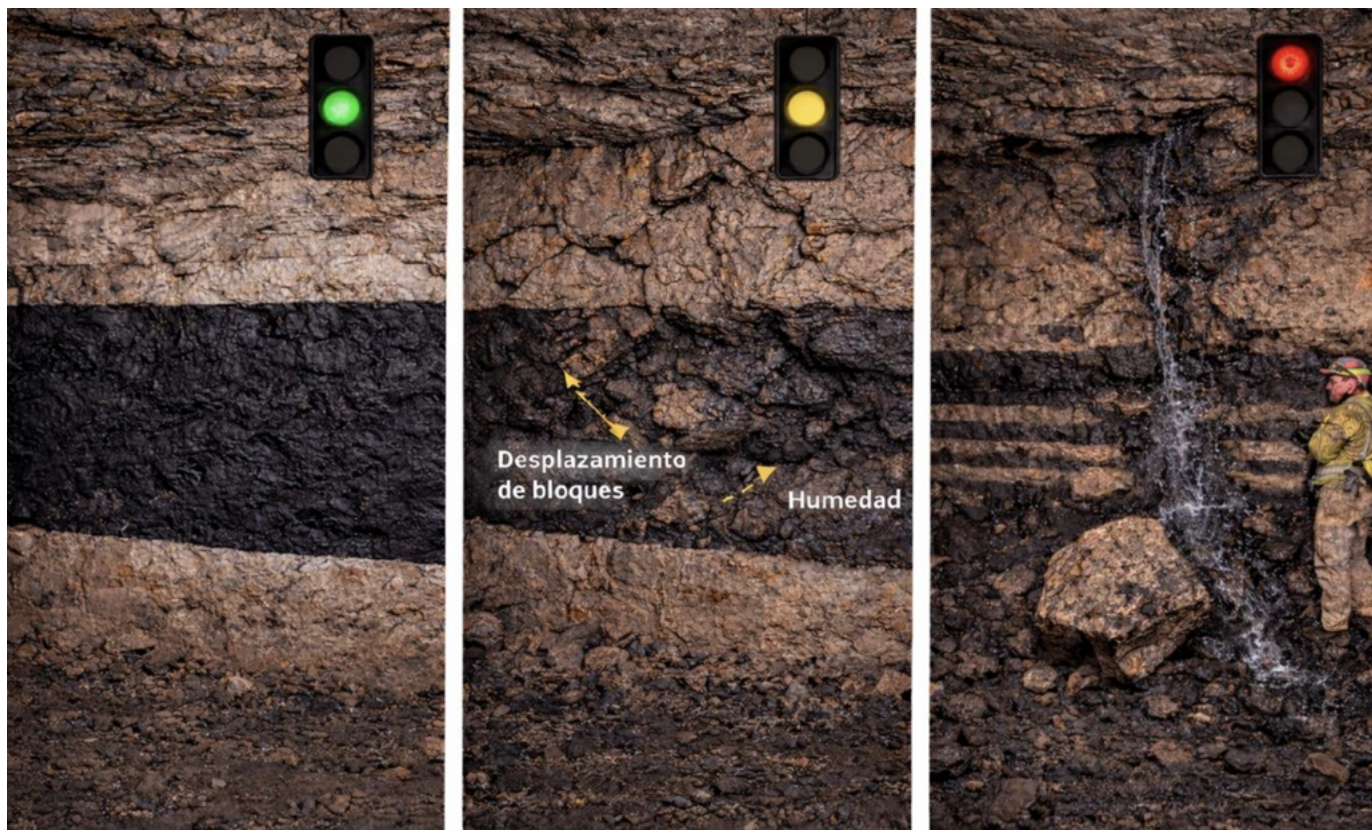
Fuente: El estudio



La clasificación geotécnica del macizo rocoso en labores subterráneas permite identificar condiciones de estabilidad, presencia de humedad y desplazamientos, lo cual es fundamental para definir medidas de sostenimiento y seguridad en la operación **(Figura 4-17)**.

Figura 4-17

Ejemplo de clasificación geotécnica del macizo rocoso en labores subterráneas de carbón según condiciones de estabilidad (estable, condicionada e inestable)



Lista de chequeo – geotecnia

Esta lista permite verificar si se cuenta con la información geotécnica mínima necesaria antes de continuar con el desarrollo de labores o definir medidas de sostenimiento. Si alguno de estos puntos no está completo, la evaluación geotécnica no puede considerarse técnicamente cerrada. Antes de continuar, verificar, como se indica en la Tabla 4-57.

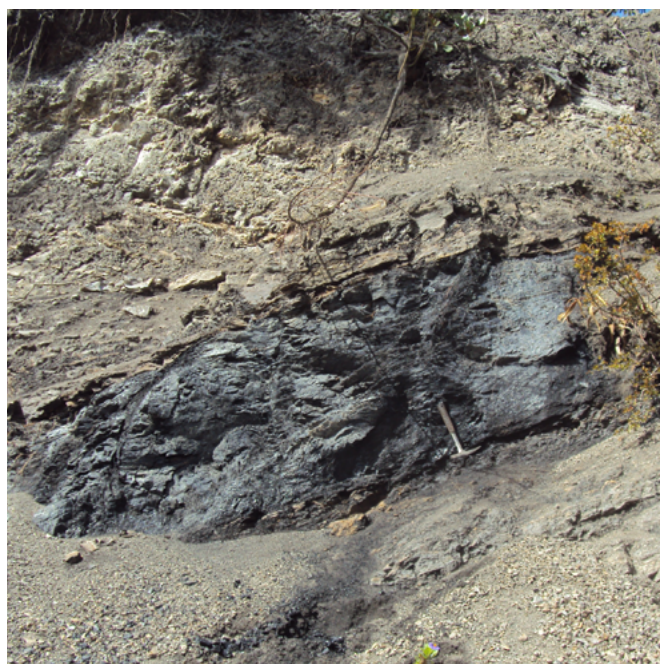


Tabla 4-57

Lista de chequeo evaluación geotécnica

Para verificar	SÍ	NO
Caracterización geotécnica del macizo rocoso	☐	☐
Registro de discontinuidades del macizo	☐	☐
Clasificación geomecánica del macizo (RMR, Q u otro método equivalente)	☐	☐
Ensayos de laboratorio geotécnicos	☐	☐
Propiedades físicas y mecánicas del macizo definidas	☐	☐
Análisis de estabilidad de labores o taludes	☐	☐
Recomendaciones geotécnicas para la explotación	☐	☐

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

4.2.8.3. Recomendaciones

Para mantener condiciones seguras durante el avance de las labores subterráneas, se recomienda aplicar los siguientes criterios, definidos en la **Tabla 4-58**.

Tabla 4-58

Recomendaciones geotécnicas en pequeña minería subterránea.

Aspecto	Recomendación técnica
Evaluación previa	Evaluar el estado del techo antes de cada avance o inicio de turno
Continuidad de labores	No continuar labores en sectores con signos evidentes de inestabilidad sin reforzar el sostenimiento
Registro de cambios	Registrar variaciones en fracturamiento, humedad o comportamiento del piso
Sostenimiento	Ajustar el sostenimiento según las condiciones observadas en el frente
Capacitación	Capacitar al personal para identificar señales de riesgo geotécnico

La aplicación sistemática de estas recomendaciones contribuye a reducir incidentes asociados a inestabilidad del macizo rocoso



Ejemplo de aplicación

El siguiente ejemplo ilustra la aplicación de la evaluación geotécnica durante el desarrollo de una labor subterránea de avance horizontal en una operación de pequeña minería de carbón.

Durante el reconocimiento geotécnico se identifica que el techo inmediato está conformado por lutitas con alto grado de fracturamiento y presenta planos de estratificación inclinados hacia el frente de avance. Adicionalmente, se observan filtraciones de agua en una de las paredes laterales, condición que puede disminuir la resistencia del macizo rocoso y aumentar el riesgo de inestabilidad.

Con base en esta evaluación, se implementan las siguientes medidas de control geotécnico:

▪ Ejemplo de aplicación

El siguiente ejemplo ilustra la aplicación de la evaluación geotécnica durante el desarrollo de una labor subterránea de avance horizontal en una operación de pequeña minería de carbón.

Durante el reconocimiento geotécnico se identifica que el techo inmediato está conformado por lutitas con alto grado de fracturamiento y presenta planos de estratificación inclinados hacia el frente de avance. Adicionalmente, se observan filtraciones de agua en una de las paredes laterales, condición que puede disminuir la resistencia del macizo rocoso y aumentar el riesgo de inestabilidad.

Con base en esta evaluación, se implementan las siguientes medidas de control geotécnico:

- Instalación de sostenimiento adicional mediante marcos y refuerzos puntuales en los sectores de mayor riesgo;
- Reducción de la longitud de avance por ciclo para disminuir la exposición del frente antes de instalar el sostenimiento;
- Monitoreo permanente de las condiciones del techo, las discontinuidades y las filtraciones de agua durante el desarrollo de las labores.

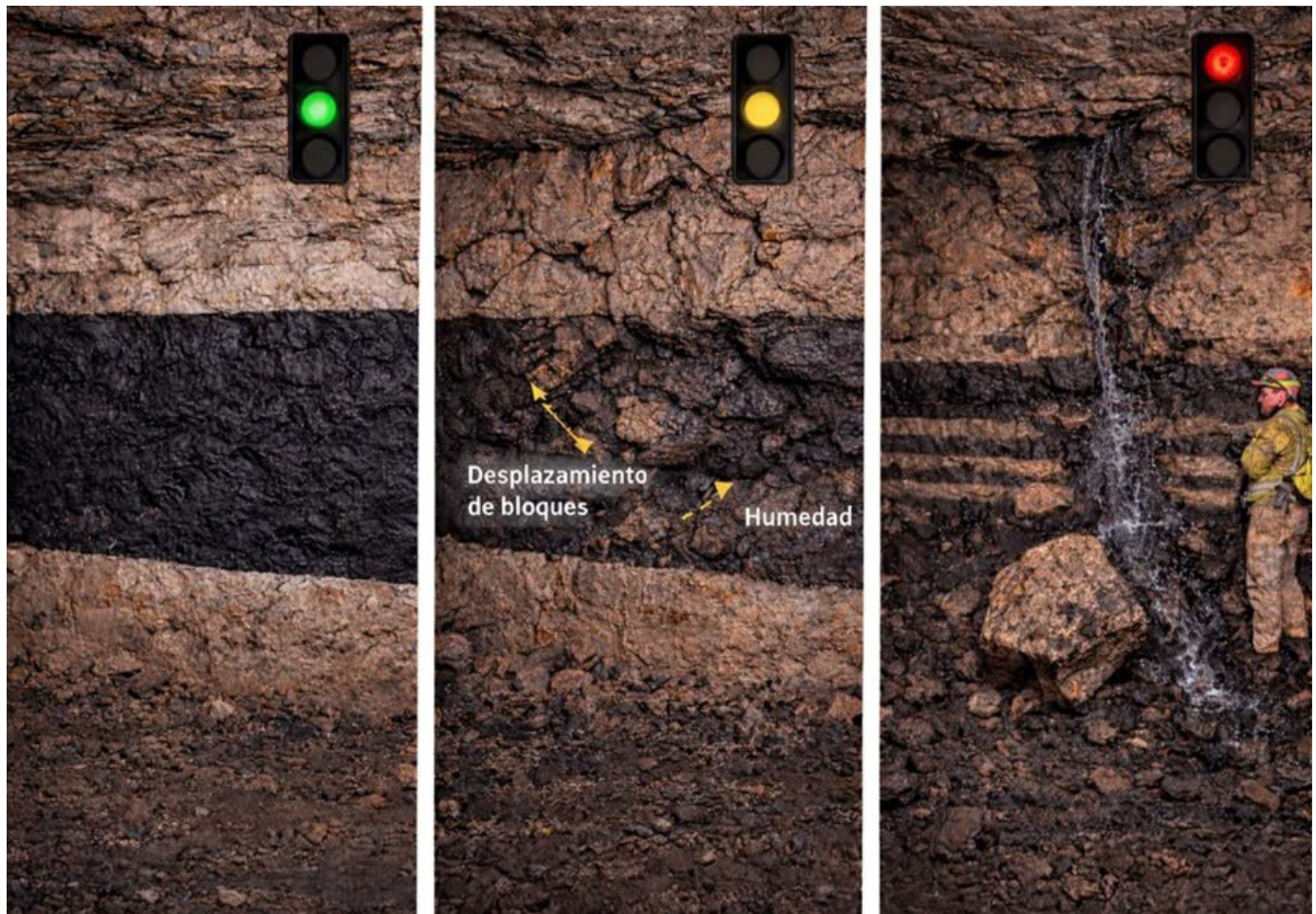
La implementación de estas medidas permite reducir el riesgo de desprendimientos, mejorar la estabilidad de la excavación y adaptar el método de explotación a las condiciones reales del macizo rocoso. Asimismo, demuestra la importancia de integrar la evaluación geotécnica al planeamiento minero para definir oportunamente las medidas de sostenimiento y control requeridas en cada sector de la mina.

Nota técnica: la evaluación geotécnica debe actualizarse periódicamente a medida que avancen las labores de explotación, debido a que las condiciones del macizo rocoso pueden variar espacialmente y modificar los requerimientos de sostenimiento y las condiciones de estabilidad.



Figura 4-18

Ejemplo ilustrativo de la evaluación geotécnica en una labor subterránea de avance horizontal



La imagen muestra un techo inmediato compuesto por lutitas altamente fracturadas con planos de estratificación inclinados hacia el frente de avance, la presencia de infiltración de agua en una pared lateral y la implementación de medidas de control, como marcos de sostenimiento metálicos, pernos de roca y monitoreo visual permanente del comportamiento del macizo rocoso. La información registrada durante la inspección geotécnica permite identificar zonas con riesgo potencial de desprendimiento y constituye un insumo para ajustar el planeamiento de las labores y definir las medidas de sostenimiento requeridas para una explotación segura.

4.3. Definición del método de explotación

La definición del método de explotación constituye una de las decisiones más importantes durante el planeamiento minero, ya que determina la forma en que se desarrollarán las labores de extracción del carbón, las condiciones de estabilidad de la mina, el nivel de recuperación del recurso y los requerimientos de infraestructura, sostenimiento, ventilación y operación.

En operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico, la selección del método de explotación debe sustentarse en la información obtenida durante las etapas de exploración, caracterización del



depósito, modelamiento geológico y evaluación geotécnica, de manera que el sistema seleccionado responda a las condiciones reales del yacimiento y contribuya a desarrollar una explotación segura, técnicamente viable y eficiente.

4.3.1. Selección preliminar del método de explotación

La selección preliminar del método de explotación consiste en identificar la alternativa de extracción que mejor se adapta a las características geológicas, estructurales, geotécnicas e hidrogeológicas del depósito, considerando además las condiciones operativas propias de la pequeña minería.

En esta etapa no se desarrolla el diseño detallado de la explotación, sino que se establece el método de explotación que ofrece las mejores condiciones de seguridad, estabilidad, recuperación del recurso y eficiencia operacional. Para ello se analiza de manera integrada la geometría de los mantos de carbón, su continuidad, espesor, buzamiento, profundidad, calidad, las condiciones del macizo rocoso, la presencia de agua y las restricciones identificadas durante la caracterización del depósito.

La información generada durante la exploración geológica, el muestreo, la construcción del modelo geológico, la estimación de recursos y la evaluación geotécnica constituye el principal soporte técnico para esta decisión, al proporcionar una comprensión integral del comportamiento del depósito y de las condiciones que influirán en el desarrollo de la explotación.

Como apoyo para este proceso, la **Tabla 4-59** presenta los principales criterios técnicos que deben considerarse durante la selección preliminar del método de explotación.



4.3.2. Criterios generales para la selección del método de explotación

La selección preliminar del método de explotación debe fundamentarse en la evaluación integrada de los factores geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos y operacionales que condicionan el desarrollo de las labores mineras. El análisis conjunto de estos criterios permite identificar el sistema de explotación que mejor se ajusta a las características del depósito y a los objetivos del proyecto.

Entre los principales aspectos que deben evaluarse se encuentran:

- la geometría y continuidad de los mantos de carbón.
- el espesor útil y el buzamiento.
- la profundidad del depósito.
- las condiciones geotécnicas del macizo rocoso.
- las condiciones hidrogeológicas.
- la calidad del carbón.
- la recuperación esperada del recurso.
- la escala de producción prevista.
- las condiciones de seguridad y estabilidad requeridas para el desarrollo de las labores.

La **Tabla 4-59** Resume los criterios técnicos que orientan la selección preliminar del método de explotación en operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico.



Tabla 4-59.

Criterios generales para la selección preliminar del método de explotación

Condición del yacimiento	Método de explotación recomendado	Justificación técnica
Mantos de carbón con buzamiento bajo a moderado, espesor uniforme y buena continuidad lateral.	Cámaras y pilares.	Favorece la estabilidad de las labores mineras, facilita la ventilación y permite una recuperación técnica del recurso en operaciones de pequeña minería.
Mantos de carbón inclinados, con continuidad lateral y espesor explotable.	Tambores paralelos o inclinados.	Facilita el desarrollo de las labores siguiendo la dirección del manto y mejora el aprovechamiento del carbón.
Mantos con variaciones de espesor, cambios de buzamiento o discontinuidades geológicas.	Explotación por paneles adaptados a las condiciones del yacimiento.	Permite ajustar la secuencia de explotación conforme cambian las condiciones geológicas, optimizando la recuperación del recurso y la seguridad operacional.
Mantos aflorantes o de poca profundidad.	Explotación a cielo abierto.	Constituye una alternativa técnicamente viable cuando las condiciones geológicas, topográficas, ambientales y económicas favorecen este método de explotación.
Yacimientos con presencia de fallas, zonas de trituración, acuíferos o condiciones geotécnicas desfavorables.	Método condicionado a estudios geotécnicos e hidrogeológicos específicos.	Permite establecer medidas de sostenimiento, drenaje y control operacional acordes con las condiciones reales del yacimiento.

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

4.3.3. Fundamentos para la selección del método de explotación

La selección del método de explotación debe sustentarse en el modelo geológico del yacimiento, el cual integra la información relacionada con la geometría de los mantos de carbón, su continuidad, espesor, calidad, estructuras geológicas y condiciones geotécnicas e hidrogeológicas. Adicionalmente, este modelo incorpora la información obtenida durante la exploración, el muestreo y la

caracterización del yacimiento, proporcionando una representación integral de las condiciones que influyen en la selección del método de explotación. El modelo geológico permite identificar los sectores con mejores condiciones para la explotación, reconocer restricciones asociadas a fallas, pliegues, zonas con presencia de agua, o cambios en el espesor de los mantos, evaluar la continuidad y el comportamiento de los mantos de carbón, y definir una secuencia preliminar de explotación acorde con las características reales del yacimiento.

En consecuencia, la selección del método de explotación constituye el vínculo entre el conocimiento geológico y el diseño minero, permitiendo que las decisiones de planeamiento respondan a las condiciones del yacimiento y contribuyan a optimizar la recuperación del carbón metalúrgico bajo criterios de seguridad, estabilidad y sostenibilidad.



De esta manera, la integración de la información geológica y minera reduce la incertidumbre durante la planificación y proporciona los fundamentos técnicos para el desarrollo de las siguientes etapas del planeamiento minero.

Figura 4-19

Proceso general para la selección preliminar del método de explotación.



4.3.4. Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación

Antes de seleccionar el método de explotación, se recomienda verificar que se dispone de la información técnica mínima necesaria para sustentar la decisión. Esta herramienta permite comprobar que la selección se encuentra respaldada por el conocimiento geológico del yacimiento y por las condiciones identificadas durante la caracterización de los mantos de carbón.

Tabla 4-60

Lista de verificación para la selección preliminar del método de explotación

Aspecto por verificar	SÍ	NO
Tipo de yacimiento identificado.	☐	☐
Geometría de los mantos de carbón caracterizada.	☐	☐
Espesor de los mantos definido.	☐	☐
Continuidad de los mantos de carbón evaluada.	☐	☐
Buzamiento de los mantos definido.	☐	☐
Condiciones geotécnicas analizadas.	☐	☐
Condiciones hidrogeológicas evaluadas.	☐	☐
Modelo geológico elaborado.	☐	☐
Estimación preliminar de recursos y reservas 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 del yacimiento y sirva como base para el diseño geométrico, operacional y de seguridad de la explotación.





5. DISEÑO DE MINA

El diseño de una mina es un proceso multidisciplinario que integra criterios geotécnicos, hidrogeológicos, operativos, ambientales y económicos para garantizar que la explotación del yacimiento sea segura, eficiente y sostenible. Una planificación adecuada no solo define cómo se accederá al recurso y cómo se desarrollarán las labores, sino que establece las condiciones necesarias para preservar la estabilidad del macizo rocoso, proteger a los trabajadores y asegurar la viabilidad del proyecto a largo plazo. En este contexto, cada decisión técnica, desde la geometría de las labores hasta los sistemas de ventilación y drenaje, influyen de manera directa en la seguridad, la productividad y la rentabilidad de la operación minera.

5.1. Consideraciones geotécnicas

5.1.1. Caracterización geomecánica

La caracterización geomecánica del macizo rocoso se fundamenta en un levantamiento detallado de parámetros geológicos y geotécnicos, que abarca la identificación de la litología, la estratigrafía, el grado de meteorización, la orientación y persistencia de las discontinuidades, así como la detección de fallas estructurales y la presencia de niveles freáticos.



Con esta información se aplican sistemas de clasificación de calidad de roca que permiten parametrizar tanto el diseño de los sistemas de sostenimiento como la geometría de las secciones de excavación. La evaluación de riesgos asociados (caídas de roca inducidas por la forma y dimensiones de las labores, el método de explotación y la presencia de agua) resulta esencial para garantizar la estabilidad estructural y la seguridad operativa de la mina. Para lograr dicha estabilidad, es imprescindible realizar un estudio geotécnico exhaustivo que combine la interpretación de discontinuidades estructurales, el análisis de mecanismos de falla y la ejecución de ensayos in situ y de laboratorio.



Tabla 5-1

Componentes para la caracterización del macizo rocoso

Componente	Aspectos claves
Levantamiento geológico y estructural	Litologías, estratigrafía, contactos geológicos, discontinuidades (diaclasas, fallas, foliaciones), grado de meteorización.
Caracterización de discontinuidades	Orientación (rumbo y buzamiento), espaciamiento y persistencia, rugosidad y apertura, tipo y estado del relleno, presencia y circulación de agua.
Sistemas de clasificación geomecánica	RQD (calidad de roca), Q-System (seis parámetros: RQD, Jn, Jr, Ja, Jw, SRF), RMR (resistencia, separación de diaclasas, estado de discontinuidades, agua freática, orientación), GSI (estimación de resistencia y deformabilidad).
Ensayos de laboratorio	Propiedades físicas (densidad, humedad, porosidad, relación de vacíos), propiedades mecánicas (compresión simple, carga puntual, tracción indirecta, módulo de elasticidad), ensayos de corte directo y triaxiales.
Modelación geomecánica	Modelos tridimensionales del macizo, simulación numérica de excavaciones, evaluación de mecanismos de falla (cuñas, deslizamientos planares, volcamiento).

5.1.2. Diseño geomecánico

El diseño geomecánico comprende el análisis de las condiciones del macizo rocoso para definir criterios que garanticen la estabilidad de las excavaciones, la seguridad de las labores y la continuidad de la explotación. Para ello, integra la información geológica, geotécnica e hidrogeológica obtenida durante la caracterización del depósito y el planeamiento minero.

Como parte de este proceso, se evalúan variables como la geometría y profundidad del depósito, las características del macizo rocoso, las discontinuidades y las condiciones hidrogeológicas, las cuales orientan el diseño de las labores y la selección de las medidas de sostenimiento.



5.1.2.1. Geometría y profundidad

La geometría del depósito y la profundidad de explotación constituyen parámetros fundamentales para el diseño geomecánico, ya que condicionan el comportamiento del macizo rocoso, la distribución de esfuerzos y la estabilidad de las excavaciones subterráneas.

La evaluación de estos parámetros comprende el análisis del espesor, la continuidad, el buzamiento y la orientación de los mantos de carbón, así como la profundidad a la que se desarrollarán las labores mineras. Estas características permiten establecer criterios para el dimensionamiento de las

excavaciones, la definición de pilares, la selección del sistema de sostenimiento y la planificación de las secuencias de explotación.

La integración de esta información con los resultados de la caracterización geológica, el modelo geológico, la evaluación geotécnica y las condiciones hidrogeológicas proporciona los insumos técnicos necesarios para desarrollar un diseño geomecánico que responda a las condiciones reales del depósito y contribuya a una explotación segura, estable y técnicamente eficiente.

Figura 5-1

Parámetros del yacimiento

PARÁMETROS DEL YACIMIENTO		
 FORMA DEL YACIMIENTO	 ESPESOR DEL MANTO	 PROFUNDIDAD DEL YACIMIENTO
• Es un factor determinante en la geometría de la explotación y en la selección del método de extracción. • Yacimientos tabulares y continuos: favorecen métodos como el tajo largo (tajos por subniveles), ya que permiten una extracción mecanizada y uniforme del manto de carbón. • Yacimientos irregulares con variaciones geométricas: suelen explotarse mediante cámaras y pilares, dado que la geometría no permite continuidad en el frente de extracción.	• Corresponde a la distancia entre los planos de techo y piso de los mantos de carbón; su magnitud influye en la selección del método y en el dimensionamiento de las labores. • Mantos delgados (<1.5 m): requieren métodos mecanizados de bajo perfil, como el tajo largo con equipos de corte de baja altura, que permiten optimizar la recuperación en espacios reducidos. • Mantos medianos (1,5 – 3 m): admiten tanto el sistema de cámaras y pilares como el tajo largo, dependiendo de la continuidad del manto y de la calidad geomecánica del macizo rocoso. • Mantos gruesos (>3 m): se explotan en niveles sucesivos (subniveles) o mediante variantes de cámaras y pilares, con el objetivo de controlar la estabilidad y reducir riesgos asociados a la caída del techo.	• Se refiere a la distancia vertical desde la superficie hasta el manto de carbón; este parámetro condiciona los esfuerzos geomecánicos, la ventilación y los costos asociados a la explotación. • Explotaciones superficiales (<200 m): permiten métodos tradicionales de cámaras y pilares, con sostenimiento relativamente sencillo. • Explotaciones intermedias (200 – 600 m): requieren sostenimiento más robusto y suelen favorecer el tajo largo, que controla mejor la redistribución de esfuerzos. • Explotaciones profundas (>600 m): demandan estudios geomecánicos avanzados, modelación numérica y sostenimiento especializado, siendo el tajo largo el método más eficiente para controlar subsidencia y esfuerzos elevados.



5.1.3. Selección del método de explotación

Los métodos de explotación se describen como configuraciones geométricas utilizadas para aprovechar un yacimiento específico. En consecuencia, se trata de la estrategia de subdividir el depósito mineral en áreas adecuadas para la extracción de manera eficiente desde una perspectiva tecnológica y económicamente factible.

Elegir el método de explotación adecuado, es el paso inicial para garantizar la seguridad, la eficiencia y la viabilidad de cualquier proyecto minero subterráneo, por lo cual se deben considerar los siguientes factores para su elección:

Figura 5-2

Factores para la elección del método de explotación



A continuación, se describen los diferentes métodos de explotación usados en minería subterránea:

- ❑ Cámaras y pilares: consiste en la extracción de mineral dejando pilares, con el fin de sostener el techo de una forma natural en el sistema de explotación. Las cámaras se hacen tan anchas como las características y propiedades de resistencia de la roca de techo y piso.
- ❑ Testeros escalonados o invertidos: se utiliza en yacimientos con fuerte buzamiento para lo cual se descompone el yacimiento en pisos o niveles. Se parte de la galería superior o inferior y se abre un frente de trabajo que se va ensanchando y formando bloques escalonados que van progresando a medida que avanza la explotación.
- ❑ Ensanche de tambores: se utiliza para yacimientos inclinados y con espesores de entre 0.7 a 2.5



m, el método consiste en delimitar el yacimiento por medio de dos guías y dos tambores, obteniendo de esta manera bloques de explotación, una vez se tiene definido el bloque de explotación se procede a ensanchar.

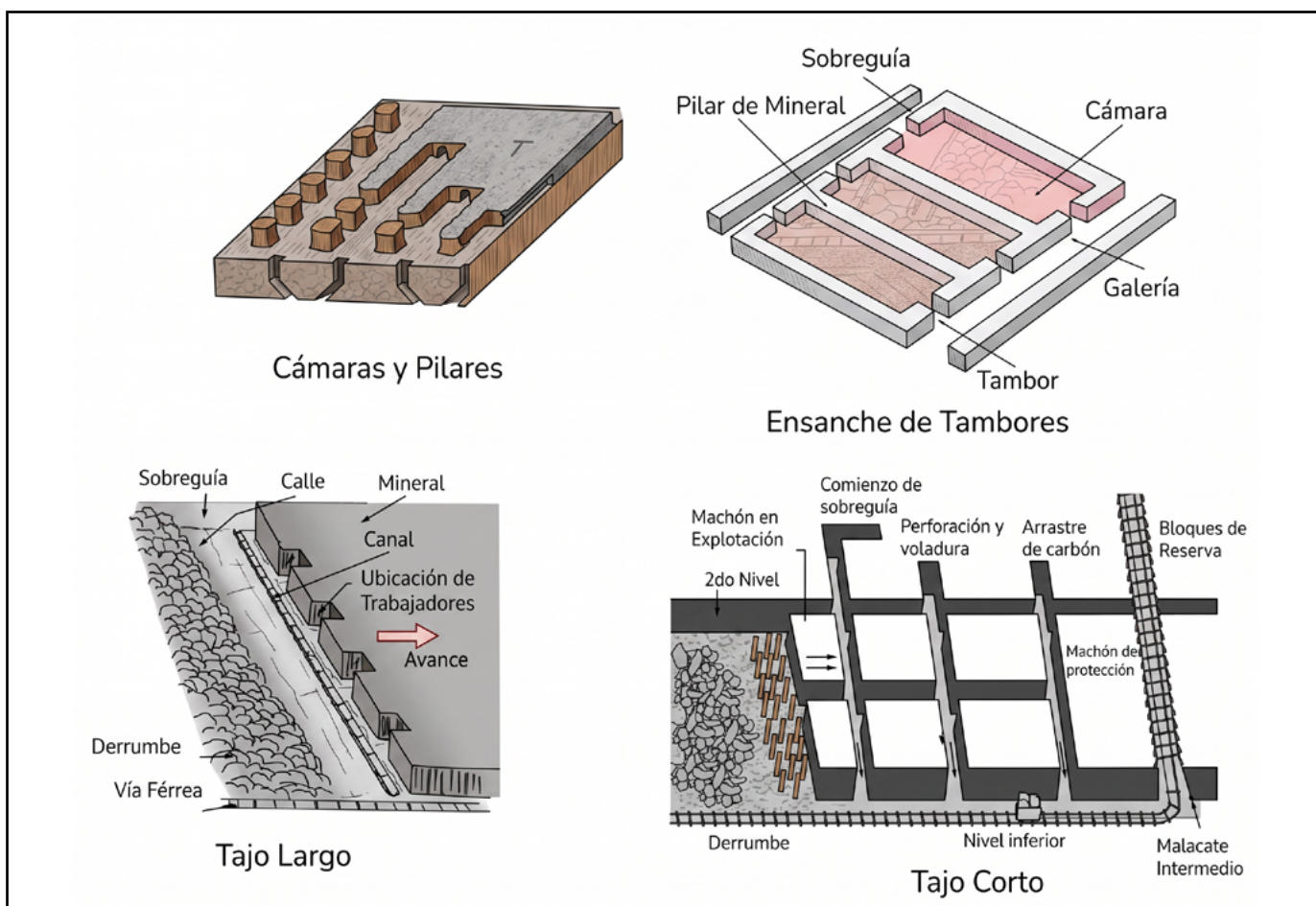
- Tajo largo: se utiliza en yacimientos estratificados de espesores uniformes e inclinaciones que oscilan entre pequeñas y moderadas. Requiere de un soporte del techo mientras se llevan a cabo las labores de extracción a lo largo del tajo.
- Tajo corto: consiste en la extracción gradual a lo largo del tajo en el sentido del rumbo, de igual manera que el tajo largo. Sin embargo, la diferencia radica en que el tajo corto es utilizado cuando la anchura del panel es inferior a los 100 metros.

5.1.4 Selección del sistema de sostenimiento

La selección del sistema de sostenimiento debe fundamentarse en la integración de la información obtenida durante la caracterización geomecánica del macizo rocoso y en el análisis de las condiciones específicas de las labores mineras. Este proceso permite definir las alternativas de sostenimiento más adecuadas para garantizar la estabilidad de las excavaciones y la seguridad de la operación.

La selección de los materiales, elementos y técnicas de sostenimiento debe realizarse de acuerdo con las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, los riesgos identificados, la geometría de las labores y la vida útil prevista para cada excavación. Asimismo, se recomienda emplear metodologías y herramientas técnicas que faciliten

Figura 5-3
Métodos de explotación



Nota. (Agencia Nacional de Minería, 2023)



la evaluación de las condiciones del terreno y la definición de soluciones acordes con los requerimientos operacionales.

La **Figura 5-4** presenta de manera esquemática los principales métodos utilizados para la selección del sistema de sostenimiento en labores subterráneas de carbón.

Figura 5-4
Métodos para selección del sostenimiento



	MÉTODOS EMPÍRICOS Se basan en la experiencia acumulada y en correlaciones prácticas. No consideran el estado de esfuerzos iniciales del macizo rocoso antes de la excavación ni los cambios inducidos por la misma. Además, no permiten calcular el Factor de Seguridad (FS) de los elementos de sostenimiento.
	MÉTODOS ANALÍTICOS Fundamentados en los conceptos de plastificación de la roca y la rigidez del sistema de sostenimiento. Se representan mediante una curva característica del terreno, que relaciona la presión interna con la deformación radial, traduciéndose en la convergencia de la excavación.
	MÉTODOS NUMÉRICOS Se apoyan en las relaciones tensión-deformación que describen el comportamiento mecánico del terreno. Utilizan la resolución de ecuaciones diferenciales y técnicas de modelación computacional para analizar la sostenimiento, ofreciendo una visión más detallada y predictiva del comportamiento estructural.

Criterios de aceptación de los diseños

L El diseño geomecánico y el sistema de sostenimiento propuesto deben cumplir criterios técnicos que permitan garantizar la estabilidad de las excavaciones, la seguridad de los trabajadores y la continuidad de las operaciones mineras. La verificación de estos criterios permite evaluar si las condiciones de diseño son compatibles con las características del macizo rocoso y con las exigencias operacionales de la mina.

Factor de seguridad (FS)

El factor de seguridad (FS) corresponde a la relación entre la capacidad resistente del macizo rocoso o del sistema de sostenimiento y las cargas o esfuerzos que actúan sobre la excavación. Su evaluación permite estimar el nivel de estabilidad de las labores mineras y verificar que el diseño proporcione condiciones adecuadas de seguridad.

La determinación del factor de seguridad debe considerar, entre otros aspectos, las características



geomecánicas del macizo rocoso, la profundidad de la excavación, la geometría de las labores, la presencia de discontinuidades y las condiciones hidrogeológicas. Con base en este análisis, se define el sistema de sostenimiento más apropiado para cada condición geotécnica.

Diseño seguro del sistema de sostenimiento

El sistema de sostenimiento debe diseñarse de acuerdo con las condiciones geomecánicas identificadas durante la caracterización del macizo rocoso, con el fin de mantener la estabilidad de las excavaciones durante todas las etapas de la explotación. La selección del tipo de sostenimiento debe considerar la resistencia del macizo rocoso, el nivel de fracturamiento, la presencia de agua, la vida útil de las labores y las cargas esperadas sobre la excavación. Un diseño adecuado contribuye a prevenir desprendimientos, controlar las deformaciones del terreno y proporcionar condiciones seguras para el desarrollo de las actividades mineras.

La **Figura 5-5** presenta algunos de los principales sistemas de sostenimiento utilizados en minería subterránea.

5.1.4.1. Evaluación de riesgos geomecánicos

Su objetivo principal es caracterizar la estabilidad, resistencia y seguridad de las labores subterráneas, permitiendo identificar estructuras geológicas que puedan comprometer el sostenimiento. La deformación de elementos de soporte, se considera un indicador valioso de los esfuerzos actuantes, ya que su comportamiento puede anticipar zonas de posible colapso.

Inspecciones geomecánicas: la implementación de un sistema que permita monitorear en tiempo real las condiciones geomecánicas del macizo rocoso facilita la detección de presiones mineras y su impacto sobre la estabilidad de las labores, posibilitando la intervención oportuna en zonas de riesgo. Inspecciones a los elementos de sostenimiento: para garantizar la estabilidad de las labores subterráneas, es indispensable establecer medidas sistemáticas de control y mejoramiento orientadas a la evaluación del estado de los elementos de sostenimiento. Esta evaluación debe ir más allá de la inspección visual, incorporando herramientas técnicas que permitan valorar con precisión las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y su interacción con la excavación.

Figura 5-5

Principales tipos de sostenimiento en minería subterránea

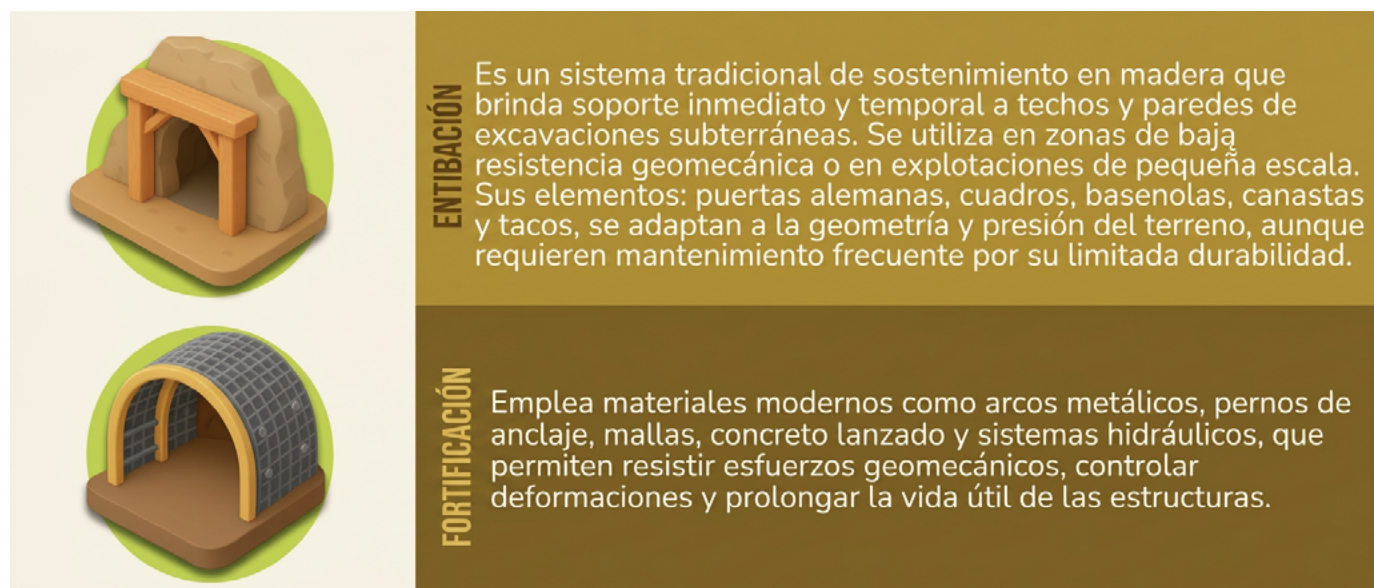


Figura 5-6

Evaluación de riesgos geomecánicos



Asimismo, es esencial asignar personal calificado para realizar inspecciones y monitoreos periódicos, con el objetivo de detectar oportunamente irregularidades, condiciones inseguras, desprendimientos de roca o deformaciones asociadas a esfuerzos que comprometan la integridad de la estructura del sostenimiento.

5.2. Consideraciones hidrogeológicas e hidrológicas

En la minería subterránea de carbón, el manejo del agua es fundamental para la seguridad de las labores, la estabilidad geomecánica y el control de impactos ambientales, en especial la generación de aguas ácidas de mina.

Este apartado entrega lineamientos para:

- Manejar aguas superficiales y subterráneas en labores subterráneas y escombreras.

- Definir rutas de evacuación del agua dentro de la mina y hacia superficie.
- Diseñar estaciones de bombeo, canales perimetrales, plantas de tratamiento y reservorios.

Las recomendaciones deben incorporarse en el planeamiento minero, el PTO y el PMA, y ajustarse a la escala de la pequeña minería y a las fases de formalización.

Recomendaciones

- Incluir un subcapítulo específico de “Manejo de aguas” en el plan de explotación de carbón.
- Priorizar medidas sencillas de desvío, drenaje y tratamiento que reduzcan el volumen de agua en la mina.
- Documentar responsables, infraestructura y procedimientos de operación y mantenimiento de los sistemas de desagüe.



5.2.1. Caracterización de aguas superficiales y subterráneas

En minería subterránea de carbón es frecuente la presencia de fracturas, diaclasas, contactos entre mantos y niveles arenosos o conglomeráticos que funcionan como caminos preferenciales para el agua. Estos elementos pueden estar conectados con acuíferos poco profundos en las formaciones que están por encima del manto, permitiendo que el agua de lluvia se infiltre y llegue hasta las labores.

Además, en muchas zonas carboníferas existen antiguas explotaciones inundadas, galerías colapsadas y cavidades abandonadas que pueden almacenar grandes volúmenes de agua y descargarlos de forma continua o repentina cuando se conectan con la nueva mina.

La combinación de estos factores hace que el ingreso de agua a la explotación pueda variar bastante en el tiempo, desde filtraciones lentas y constantes, asociadas al nivel freático regional, hasta aportes rápidos durante épocas de lluvia intensa o cuando se intersecta una labor antigua. Por esta razón, la caracterización hidrogeológica debe concentrarse en entender la relación entre el relieve, las unidades geológicas, las estructuras (fallas y fracturas) y las labores existentes, para anticipar las zonas con mayor probabilidad de entradas de agua y definir medidas de drenaje y bombeo adecuadas para la pequeña minería de carbón.

Recomendaciones

- Identificar quebradas, drenajes y zonas encharcadas sobre el área del manto de carbón.
- Elaborar un croquis con la ubicación de bocaminas, escombreras y corrientes cercanas.
- Registrar nacimientos, filtraciones y surgencias observadas en taludes, galerías y frentes.
- En minas con historial de inundaciones, identificar zonas de riesgo, como fallas, contactos entre mantos y techos, intersección con labores antiguas.

- Actualizar el diagnóstico hidrogeológico a medida que avanzan las galerías o se profundizan niveles.

5.2.1.1. Manejo de aguas superficiales

El objetivo es impedir que el agua lluvia o de escorrentía se infiltre hacia el manto o entre en la bocamina y en los botaderos de estériles carbonosos. Para lograrlo, es necesario “dejar el agua por fuera de la mina”. Esto significa reconocer por dónde baja el agua cuando llueve, en qué partes se acumula y qué zonas aportan más escorrentía hacia la bocamina, las vías de acceso y los botaderos. Con base en esto, se diseñan y construyen canales perimetrales, cunetas y pequeñas obras de desvío que recojan el agua antes de que llegue a los frentes de trabajo o a los depósitos de estéril.

En torno a la bocamina, es importante contar con una buena superficie de drenaje, como cunetas laterales, canaletas a la salida del portal y, si es posible, un pequeño terraplén o cuneta de coronación que impida que el agua se dirija directamente hacia la entrada. En los botaderos de estériles carbonosos se deben construir canales en la parte superior y en la base para que el agua no se infiltre en el material y no se formen escorrentías cargadas de sedimentos o de aguas potencialmente ácidas.

Un buen manejo de aguas superficiales reduce el volumen de agua que entra a la mina, disminuye los costos de bombeo, mejora las condiciones de seguridad y ayuda a prevenir problemas de inestabilidad en taludes y deslizamientos en las escombreras.

Canales perimetrales y cunetas

Recomendaciones

- Construir canales perimetrales aguas arriba de la bocamina y escombreras para desviar la escorrentía.
- Mantener los canales con pendiente suave y sección uniforme, evitando erosión y reboses.



- En zonas con materiales carbonosos o sulfurosos, impermeabilizar los canales para evitar infiltraciones que generen aguas ácidas.
- Dotar las vías de acceso con cunetas laterales y alcantarillas para evacuar el agua de lluvia.
- Programar limpieza regular de cunetas y canales para retirar sedimentos y material arrastrado.

Rutas de evacuación en superficie

Recomendaciones

- Definir en plano el recorrido del agua desde bocaminas, escombreras y patios hasta las pozas de sedimentación o plantas de tratamiento.
- Evitar que las rutas de evacuación descarguen directamente en quebradas sin tratamiento previo.
- Implementar estructuras de disipación (escalones, gaviones, pozas) en tramos con alta pendiente.
- Señalizar las obras principales de drenaje para facilitar su inspección y mantenimiento.

5.2.1.2. Manejo de aguas subterráneas y desagüe minero

El manejo de las aguas subterráneas constituye un componente fundamental del diseño de las labores mineras, debido a que la infiltración de agua puede afectar la estabilidad de las excavaciones, comprometer el desempeño del sostenimiento, generar riesgos eléctricos y dificultar el desarrollo seguro de la explotación.

Por esta razón, el diseño del sistema de desagüe debe contemplar la captación, conducción, almacenamiento, bombeo y evacuación del agua de mina, procurando minimizar la acumulación de agua en los frentes de trabajo y garantizar condiciones adecuadas para la operación.

Drenaje interno y rutas de evacuación

El sistema de drenaje interno debe aprovechar, siempre que sea posible, el flujo por gravedad mediante el diseño de galerías y rampas con pendientes dirigidas hacia los puntos de colección. Asimismo, debe contemplar la construcción de cunetas y canales que permitan conducir las filtraciones provenientes del techo, las paredes y el piso hasta los sumideros o cámaras de bombeo.

Se recomienda:

- Diseñar las galerías principales con pendiente hacia los puntos de colección del agua.
- Construir cunetas laterales o centrales en galerías, subniveles y rampas para facilitar el drenaje.
- Implementar drenes horizontales o perforaciones de alivio en sectores con alta presión de agua.
- Mantener limpias las cunetas para evitar obstrucciones por lodos o carbón fino.
- Representar en los planos mineros las rutas de evacuación del agua, diferenciando los tramos que funcionan por gravedad de aquellos que requieren bombeo.

Estaciones de bombeo

Las estaciones de bombeo permiten evacuar el agua acumulada en los puntos bajos de la mina hacia la superficie. Estas instalaciones deben ubicarse en sectores estables, con acceso seguro y condiciones que faciliten su operación y mantenimiento. Se recomienda:

- Construir cámaras de bombeo en zonas estables y protegidas frente a desprendimientos,
- Instalar una bomba principal y una bomba de respaldo con capacidad para el caudal máximo previsto.
- Proteger los equipos mediante rejillas o sistemas de sedimentación que retengan sólidos.
- Garantizar una alimentación eléctrica confiable y, cuando sea posible, sistemas de respaldo.



- Conducir el agua mediante tuberías identificadas y provistas de válvulas de control.

Plantas de tratamiento, reservorios y control de aguas ácidas

En operaciones de pequeña minería de carbón puede presentarse generación de aguas ácidas de mina, por lo que es necesario implementar medidas para controlar su calidad antes del vertimiento, reúso o disposición final.

Se recomienda:

- Construir pozas de sedimentación para retener sólidos en suspensión.
- Implementar sistemas de neutralización cuando el agua presente condiciones de acidez o concentraciones elevadas de hierro y sulfatos.
- Disponer adecuadamente los lodos generados durante el tratamiento.
- Separar los reservorios de agua limpia de aquellos destinados al almacenamiento de agua de mina.
- Promover el reúso del agua tratada en actividades como el control de polvo y el lavado de equipos.

Monitoreo, mantenimiento y mejora continua

El monitoreo y mantenimiento periódico permiten verificar el adecuado funcionamiento del sistema de drenaje y prevenir fallas que puedan afectar la seguridad y continuidad de la operación.

Se recomienda:

- establecer puntos de control para el monitoreo del caudal y la calidad del agua;
- registrar los niveles de agua, los caudales bombeados y las horas de operación de los equipos;
- realizar la limpieza periódica de cunetas, canales, sumideros, pozas y tuberías;
- evaluar periódicamente la eficiencia del sistema e implementar acciones de mejora cuando sea necesario.



5.3. Consideraciones ambientales para el planeamiento minero

El planeamiento de proyectos de explotación de carbón metalúrgico debe incorporar desde sus etapas iniciales las determinantes ambientales y territoriales que pueden influir en la viabilidad técnica, ambiental y legal del proyecto. La identificación temprana de estas condiciones permite orientar adecuadamente el diseño de la explotación, prevenir conflictos con el uso del territorio y facilitar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Como parte de este proceso, el titular minero debe identificar la autoridad ambiental competente dentro de su jurisdicción, ya que las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y demás autoridades ambientales establecen las determinantes ambientales, las áreas de importancia ambiental y los lineamientos relacionados con la gestión del riesgo que deben considerarse durante el planeamiento minero.

La **Figura 5-7** presenta de manera general las principales determinantes ambientales que deben evaluarse durante el planeamiento de un proyecto minero.



Figura 5-7

Determinantes ambientales para planeamiento minero



Esta sección de la guía aborda la identificación preventiva de estas determinantes como insumo para el planeamiento minero. Las medidas de manejo, mitigación, compensación y seguimiento ambiental se desarrollan en el **Capítulo 8. Gestión ambiental**.

5.3.1. Gestión de áreas de exclusión Minera

Las áreas de exclusión minera corresponden a zonas donde la legislación colombiana prohíbe el desarrollo de actividades de exploración y explotación minera, debido a su importancia ambiental o a restricciones de carácter legal.

La identificación de estas áreas debe realizarse desde las primeras etapas del planeamiento mediante la consulta de cartografía oficial y la verificación de la superposición del proyecto con áreas protegidas u otras zonas donde la actividad minera no esté permitida.

La **Figura 5-8** presenta el proceso general para la identificación temprana de áreas de exclusión minera durante el planeamiento del proyecto.



Figura 5-8

Consulta anticipada y obligatoria como determinante ambiental



5.3.2. Gestión de áreas con restricción para la actividad

Las áreas con restricción minera corresponden a territorios donde la actividad minera puede desarrollarse únicamente bajo condiciones especiales, requisitos adicionales o medidas de manejo definidas por la autoridad competente.

Entre ellas pueden encontrarse:

- Distritos de manejo integrado;
- Áreas de recarga hídrica;
- Zonas con amenaza por movimientos en masa;
- Territorios con presencia de comunidades étnicas sujetos a procesos de consulta previa, cuando corresponda conforme a la normativa aplicable.

La **Figura 5-9** presenta algunos ejemplos de restricciones ambientales que deben evaluarse durante el planeamiento minero.

Figura 5-9

Restricciones ambientales para un planeamiento minero



5.3.3. Articulación del proyecto minero con el ordenamiento territorial

El planeamiento minero debe armonizarse con los instrumentos de ordenamiento territorial y de planificación ambiental vigentes en el área donde se desarrollará el proyecto. Esta articulación permite verificar la compatibilidad del proyecto con los usos del suelo y con las determinantes territoriales definidas por las autoridades competentes.

Entre los principales instrumentos se encuentran:

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

Se recomienda:

- Verificar la compatibilidad entre el proyecto y la zonificación territorial y ambiental;
- Considerar las áreas de expansión urbana, protección y producción agropecuaria;
- Evitar la localización de infraestructura minera en suelos de protección;
- Participar oportunamente en los procesos de planificación territorial cuando corresponda.

5.3.4. Gestión de determinantes ambientales

Las determinantes ambientales corresponden a normas, directrices y condicionantes que orientan el uso del territorio y deben incorporarse desde las etapas iniciales del planeamiento del proyecto.

Se recomienda

- Identificar las determinantes emitidas por las autoridades ambientales competentes.
- incorporarlas desde la etapa de planeamiento y no únicamente durante el trámite de licencia ambiental.

- Considerar criterios para la protección del recurso hídrico, el control de emisiones atmosféricas, el manejo de estériles y la restauración progresiva de las áreas intervenidas.

5.2.5. Gestión de áreas de importancia ambiental

Las áreas de importancia ambiental corresponden a ecosistemas y territorios que cumplen funciones estratégicas para la conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos.

Entre ellas pueden encontrarse:

- Bosques andinos.
- Áreas de recarga hídrica.
- Corredores de conectividad ecológica.
- Áreas prioritarias para la conservación.

Durante el planeamiento minero se recomienda:

- Desarrollar una línea base ambiental acorde con las características del proyecto.
- Aplicar la jerarquía de mitigación, priorizando evitar, minimizar, restaurar y compensar los impactos ambientales.
- Promover procesos de restauración ecológica con especies nativas cuando sean requeridos.
- Incorporar criterios de cierre progresivo de la explotación desde las etapas iniciales del proyecto

5.4. Recomendaciones transversales para el diseño minero

El diseño de una mina subterránea de carbón debe desarrollarse mediante un enfoque integral que articule los aspectos geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, operacionales, ambientales y de seguridad, con el fin de garantizar una explotación técnica, segura y eficiente.

Las decisiones de diseño deben fundamentarse en información técnica confiable y considerar de



manera conjunta las características del depósito, las condiciones del macizo rocoso, el manejo de aguas, los sistemas de ventilación, el sostenimiento, la infraestructura minera y los requerimientos ambientales y normativos aplicables. Esta integración contribuye a optimizar la recuperación del recurso, reducir los riesgos operacionales y favorecer la sostenibilidad del proyecto durante todas sus etapas.

La **Figura 5-10** resume los principales elementos que deben integrarse durante el diseño de una mina subterránea de carbón.

Figura 5-10

Elementos claves de diseño



El diseño minero debe entenderse como un sistema integral sustentado en tres pilares esenciales: la seguridad, orientada a proteger la vida humana; la eficiencia, dirigida a optimizar el uso de los recursos; y la rentabilidad, destinada a garantizar la viabilidad económica y social del proyecto. La interacción armónica de estos componentes constituye la base de una minería responsable, competitiva y sostenible, alineada con los estándares internacionales y en estricto cumplimiento del marco normativo nacional.

5.4.1. Plan minero de explotación

El Plan Minero de Explotación constituye el instrumento guía de la operación minera, particularmente en el ámbito de la minería subterránea de carbón, donde las condiciones geológicas, geotécnicas y operativas exigen una planificación rigurosa, flexible y técnicamente fundamentada. Este plan articula de manera coherente los lineamientos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad que orientan el desarrollo progresivo de la explotación, desde la fase de preparación de labores hasta el cierre técnico definitivo.

Su formulación debe garantizar la viabilidad técnica y económica del proyecto, en estricto cumplimiento de la normativa vigente y en consonancia con los principios de sostenibilidad ambiental y responsabilidad social empresarial. Más allá de su carácter obligatorio desde el punto de vista legal y administrativo, el Plan Minero de Explotación constituye una herramienta estratégica para la toma de decisiones, la eficiencia operativa y la gestión proactiva de riesgos que puedan comprometer la seguridad del personal, la integridad de la infraestructura minera y la protección del entorno natural.



Figura 5-11
Frente de explotación



5.4.1.1. Método de explotación, diseño minero y dimensionamiento geométrico de la explotación

La definición del método de explotación, el diseño minero y el dimensionamiento geométrico de las labores constituyen la base para el desarrollo de una operación subterránea segura, eficiente y técnicamente viable. Estas decisiones deben sustentarse en las características geológicas, geomecánicas, hidrogeológicas y topográficas del depósito, así como en la escala de producción prevista y las condiciones operacionales del proyecto.

La integración de estos factores permite definir la disposición de las labores, establecer la secuencia de explotación y optimizar el aprovechamiento del recurso, garantizando condiciones adecuadas de estabilidad y seguridad durante el desarrollo de la mina.

La **Figura 5-12** presenta los principales principios que orientan el diseño minero en operaciones subterráneas de carbón.

Figura 5-12
Principios de diseño minero



La selección del método de explotación y el diseño minero deben fundamentarse en la integración de la información geológica, geomecánica, hidrogeológica y topográfica del depósito, garantizando que las labores propuestas sean técnicamente viables, seguras y coherentes con los objetivos de producción del proyecto.

Para ello se recomienda:

- seleccionar el método de explotación de acuerdo con las características del depósito.
- desarrollar un diseño minero integral que incluya las labores de desarrollo, preparación y explotación.
- definir las dimensiones geométricas de todas las labores conforme a criterios técnicos y de seguridad.
- establecer la secuencia de explotación y su programación.
- elaborar los planos necesarios para representar el diseño y la evolución prevista de la mina.

La **Figura 5-13** presenta un esquema general del proceso para el diseño minero.

Figura 5-13

Proceso metodológico para el diseño minero

5.4.1.2. Actividades de la operación minera

La operación minera comprende el conjunto de actividades necesarias para desarrollar, preparar y explotar el depósito de manera segura, eficiente y conforme al diseño minero establecido. La adecuada planificación y ejecución de estas actividades contribuye a optimizar la productividad, mantener la estabilidad de las labores y reducir los riesgos durante la operación.

Las siguientes secciones presentan recomendaciones técnicas para las principales actividades desarrolladas en la explotación subterránea de carbón

Arranque y cargue

El arranque y el cargue constituyen actividades fundamentales del ciclo operativo de la explotación subterránea, ya que permiten la extracción y el manejo inicial del carbón desde el frente de trabajo. La selección de los métodos y equipos debe responder a las condiciones geológicas del depósito, al método de explotación adoptado y a los requerimientos de producción y seguridad del proyecto.

La **Figura 5-14** presenta los principales métodos de arranque utilizados en minería subterránea de carbón.



Figura 5-14

Tipos de arranque (minería subterránea)



Buena práctica

La selección de los métodos de arranque y cargue debe sustentarse en las condiciones del depósito y en los requerimientos operacionales del proyecto, garantizando la seguridad de las labores, la eficiencia del proceso y la compatibilidad con el método de explotación seleccionado.



Se recomienda:

- Seleccionar el método de arranque de acuerdo con las características geológicas y geomecánicas del depósito.
- Definir el procedimiento para el cargue interno y el transporte inicial del material.
- Incorporar tecnologías que favorezcan la eficiencia operacional y reduzcan los impactos ambientales cuando sea técnica y económicamente viable.
- Identificar los riesgos asociados a las actividades de arranque y cargue e implementar las medidas de control correspondientes.
- Diseñar y justificar técnicamente el uso de explosivos cuando el método de explotación lo requiera.
- Garantizar el cumplimiento de la normativa vigente relacionada con el manejo y uso de explosivos.
- Seleccionar y justificar los equipos y la maquinaria requeridos para el desarrollo de la operación.

La **Figura 5-15** presenta el proceso general para las actividades de arranque y cargue.



Figura 5-15

Paso a paso arranque y transporte



Figura 5-16

Ciclo de transporte en minería subterránea (carbón)

Transporte

El transporte constituye una de las actividades fundamentales del ciclo operativo en minería subterránea, ya que permite el traslado eficiente del carbón desde los frentes de explotación hasta los puntos de almacenamiento, procesamiento o despacho. Su adecuada planificación influye directamente en la productividad de la operación, la seguridad de las labores y los costos asociados a la explotación.

La selección del sistema de transporte debe realizarse de acuerdo con el método de explotación, las características geométricas de las labores, las distancias de acarreo, la capacidad de producción prevista y las condiciones operacionales de la mina. La **Figura 5-16** presenta el ciclo general del transporte en minería subterránea de carbón.



Buena práctica

Seleccionar el sistema de transporte considerando las condiciones del proyecto, de manera que garantice la continuidad de la operación, la seguridad de los trabajadores y la eficiencia en el movimiento del mineral.

Para ello se recomienda:

- Seleccionar el sistema de transporte de acuerdo con las características del método de explotación y las condiciones de las labores mineras.
- Dimensionar la capacidad del sistema de transporte conforme a la producción prevista.
- Mantener las vías de transporte en condiciones adecuadas para garantizar una circulación segura.
- Implementar programas de inspección y mantenimiento preventivo para equipos e infraestructura.
- Establecer medidas para controlar los riesgos asociados al tránsito de personal, equipos y material.

Transporte interno

El transporte interno comprende el desplazamiento del carbón desde los frentes de explotación hasta los puntos de transferencia, almacenamiento o extracción de la mina. Dependiendo de las características del proyecto, pueden emplearse diferentes sistemas, entre ellos:

- Carretas manuales;
- Vagonetas con tracción humana;
- Vagonetas motorizadas;
- Vagonetas accionadas mediante malacates o cabrestantes;
- Locomotoras.

La selección de cada alternativa debe responder a las condiciones de la mina, la longitud de las labores, la producción proyectada, la capacidad de carga requerida y las condiciones de seguridad de la operación.

Figura 5-17

Vagoneta con tracción humana



Transporte externo

El transporte externo comprende el traslado del carbón desde la bocamina o los puntos de El transporte externo comprende el traslado del carbón desde la bocamina, patios de acopio o centros de almacenamiento hasta las plantas de beneficio, centros de transformación, estaciones de transferencia o puntos de comercialización. La selección del sistema de transporte debe considerar el volumen de producción, las distancias de recorrido, las condiciones topográficas, el estado de la infraestructura vial, la capacidad de carga de las vías, los costos operacionales y los requisitos ambientales y de seguridad.

Los sistemas de transporte externo más utilizados en operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico incluyen:

- Camiones tipo volqueta.
- Camiones sencillos.
- Camiones doble troque.
- Tractocamiones con semirremolque (cuando el volumen de producción lo justifica).



En zonas donde las condiciones topográficas o la infraestructura vial presentan restricciones, pueden emplearse soluciones complementarias para trasladar el mineral desde la bocamina hasta el punto de cargue vehicular, tales como **cables aéreos o malacates**, los cuales hacen parte de la logística interna de la operación.

Buena práctica

Planificar el sistema de transporte externo de acuerdo con la capacidad de producción de la mina, las condiciones de acceso y la infraestructura disponible, garantizando la trazabilidad del mineral, la seguridad de la operación y la eficiencia logística. Se recomienda:

- Seleccionar el sistema de transporte según la producción proyectada y las condiciones del terreno.
- Verificar periódicamente el estado de las vías, equipos e infraestructura utilizada para el transporte.
- Controlar la emisión de material particulado durante el transporte mediante las medidas que resulten aplicables.
- Implementar programas de mantenimiento preventivo para los equipos de transporte.
- Establecer procedimientos seguros para las operaciones de cargue, descargue y circulación de vehículos.

Figura 5-18

Vagoneta con malacate



La vagoneta con malacate es empleada en minería subterránea para el desplazamiento seguro y eficiente de carbón, materiales y equipos dentro de la operación minera.

Figura 5-19

Camión tipo volqueta



Los camiones tipo volqueta constituyen uno de los medios de transporte más utilizados para el traslado externo del carbón desde la bocamina o los patios de acopio hasta las plantas de beneficio, centros de almacenamiento o puntos de comercialización. Su selección debe responder a la capacidad de producción de la mina, las condiciones de las vías de acceso, las distancias de acarreo y los requerimientos logísticos del proyecto.

Buena práctica

Seleccionar el sistema de transporte externo con base en criterios técnicos, operacionales y económicos, garantizando la continuidad de la operación, la seguridad del transporte y la eficiencia logística del proyecto.

Para definir el sistema de transporte más adecuado se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Capacidad de carga requerida de acuerdo con la producción proyectada.



- Longitud y condiciones de las rutas de transporte;
- Ciclos de cargue, transporte, descarga y retorno;
- Consumo de combustible o energía y costos de operación.
- Estado y capacidad de las vías de acceso.
- Condiciones de seguridad para la circulación de vehículos y personal.
- Costos de adquisición, operación, mantenimiento o arrendamiento de los equipos.
- Cumplimiento de los requisitos ambientales y de la normativa aplicable para el transporte de carbón.



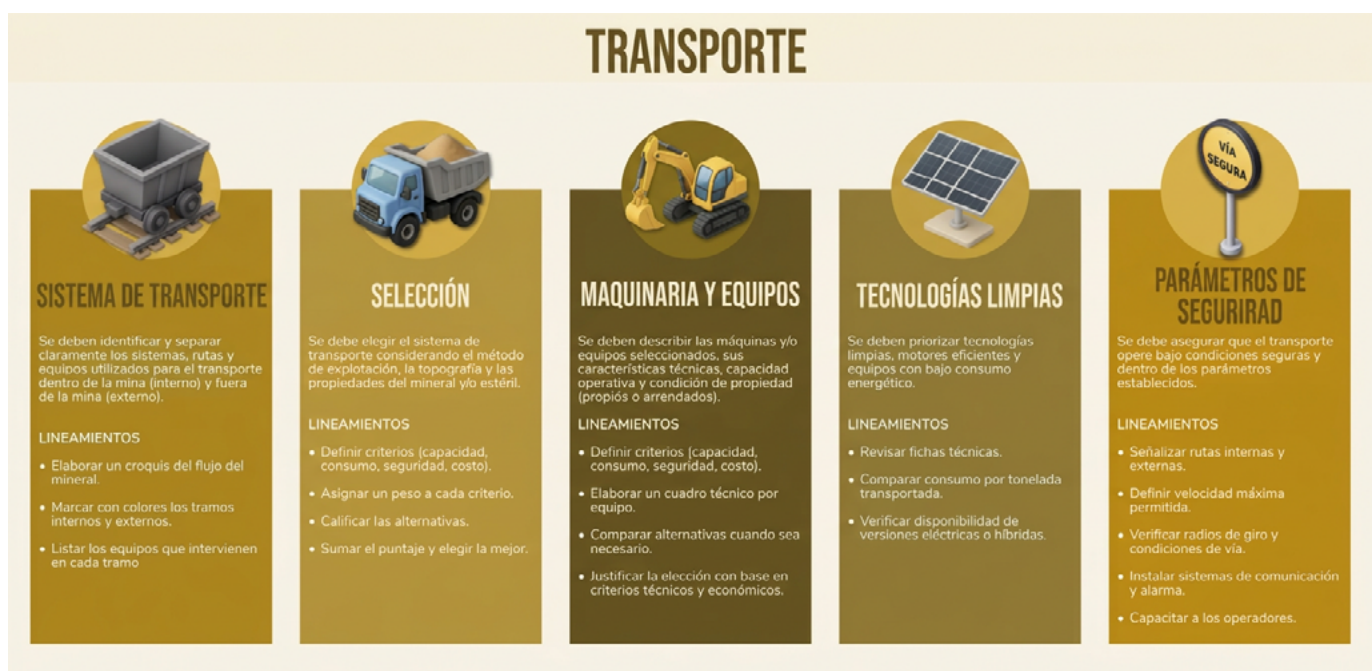
Figura 5-20
Paso a paso transporte

En el **Anexo 5.1. Listas de chequeo y/o verificación de buenas prácticas mineras, Ítem 2. Principios de diseño minero subterráneo de carbón metalúrgico**, se presenta una lista de verificación que facilita la evaluación del cumplimiento de los principales criterios técnicos asociados al diseño de una explotación subterránea de carbón metalúrgico.

5.4.1.3. Beneficio y/o transformación de carbón metalúrgico

El beneficio del carbón comprende el conjunto de operaciones físicas realizadas sobre el material extraído con el propósito de mejorar su calidad comercial, facilitar su manejo y cumplir las especificaciones del mercado, sin modificar sus propiedades químicas. Estas actividades forman parte del ciclo minero y se encuentran reguladas por el Decreto 1073 de 2015.

En operaciones de pequeña minería, el beneficio permite incrementar el aprovechamiento del recurso, reducir la presencia de materiales estériles y optimizar las condiciones para el almacenamiento, transporte y comercialización del carbón.



La **Figura 5-21** presenta las principales etapas del proceso de beneficio del carbón metalúrgico.

Figura 5-21
Benéfico y transformación



Selección del material útil

Corresponde a la separación del carbón aprovechable respecto de los estériles e impurezas mediante inspección visual o equipos de clasificación, con el propósito de mejorar la calidad del mineral desde las primeras etapas del beneficio.

Trituración controlada

La trituración consiste en reducir el tamaño del carbón cuando las especificaciones de comercialización o las condiciones del proceso así lo requieran. Esta operación debe realizarse procurando minimizar la generación de finos y el consumo de energía. La **Figura 5-22** presenta un ejemplo de trituración controlada.

Figura 5-22
Trituración controlada



Clasificación granulométrica

La clasificación granulométrica permite separar el carbón en diferentes rangos de tamaño mediante zarandas u otros sistemas de cribado, obteniendo productos homogéneos de acuerdo con los requerimientos del mercado.

La **Figura 5-23** presenta un ejemplo de clasificación granulométrica.

Figura 5-23
Clasificación granulométrica



Retiro de estériles e impurezas

Esta actividad consiste en eliminar materiales no aprovechables, como fragmentos de roca, arcillas u otros contaminantes, mediante procedimientos manuales o mecánicos que mejoren la calidad del producto final.

La **Figura 5-24** presenta un ejemplo del retiro de estériles e impurezas.

Figura 5-24
Retiro de estériles e impurezas visibles



Manejo y control de finos

El manejo adecuado de los finos permite reducir pérdidas de material, minimizar la generación de polvo y prevenir el arrastre por escorrentía, favoreciendo además su posible aprovechamiento.

La **Figura 5-25** presenta un ejemplo de manejo y control de finos.

Figura 5-25

Manejo y control de finos



El carbón beneficiado debe almacenarse temporalmente en áreas acondicionadas que garanticen la estabilidad del material, faciliten las operaciones de cargue y minimicen los riesgos de contaminación o pérdida del producto.

La **Figura 5-26** presenta un ejemplo de acopio temporal del carbón.

Figura 5-26

Acopio temporal



Buena práctica

Implementar un proceso de beneficio del carbón que permita mejorar la calidad del producto, optimizar el aprovechamiento del recurso y reducir los impactos ambientales asociados a su manejo y comercialización.

Se recomienda:

- Realizar la selección del material útil desde las primeras etapas del beneficio.
- Efectuar la trituración únicamente cuando las especificaciones del producto lo requieran.
- Clasificar el carbón de acuerdo con las especificaciones granulométricas de comercialización;
- Retirar los estériles e impurezas para mejorar la calidad del producto.
- Implementar medidas para el manejo y control de finos.
- Disponer áreas adecuadas para el acopio temporal del carbón.
- Ubicar las instalaciones de beneficio considerando aspectos operacionales, ambientales y de seguridad.
- Dimensionar los equipos de beneficio de acuerdo con la producción proyectada y la capacidad de procesamiento requerida.

Con el fin de garantizar un proceso de beneficio eficiente y acorde con las condiciones operativas de la pequeña minería, es necesario considerar aspectos técnicos relacionados con la selección del material, la reducción y clasificación del tamaño, el manejo de finos, el almacenamiento temporal, la localización de las instalaciones y la selección de los equipos.

La **Figura 5-27** presenta los principales lineamientos técnicos que deben incorporarse durante el diseño y la operación del beneficio del carbón metalúrgico.



Figura 5-27

Lineamientos técnicos para el beneficio del carbón metalúrgico



Como herramienta de apoyo para verificar la implementación de las buenas prácticas descritas en esta sección, en el Anexo 5.1. *Listas de chequeo y/o verificación de buenas prácticas mineras*, Ítem 3. Beneficio de minerales, se presenta una lista de verificación que facilita la evaluación del cumplimiento de las principales buenas prácticas aplicables al beneficio del carbón metalúrgico.

5.4.1.4. Servicios de la mina

Los servicios de mina son actividades de apoyo que permiten el funcionamiento seguro, continuo y eficiente de la operación minera. Aseguran condiciones adecuadas, mantienen la estabilidad, protegen a los trabajadores y evitan interrupciones. Una

buen planificación y mantenimiento reducen riesgos y mejoran el desempeño según los requisitos técnicos y normativos.

Sistema de energía y electrificación

Componente esencial en la planificación y operación de proyectos mineros subterráneos, dado que garantiza el suministro confiable de energía a los equipos de producción, ventilación, bombeo y demás sistemas de soporte. En este capítulo, se establece la descripción técnica de las instalaciones y redes eléctricas requeridas, así como los criterios de diseño y seguridad que deben observarse conforme a la normatividad vigente.



Figura 5-28

Energía y electrificación en una mina



Para establecer las instalaciones y redes eléctricas, el proyecto debe considerar los siguientes aspectos técnicos y operativos:

- Cumplir la normatividad eléctrica vigente.
- Dimensionar la capacidad instalada según la demanda real.
- Garantizar seguridad eléctrica en ambientes con metano y polvo de carbón.
- Seleccionar equipos certificados y adecuados para minería subterránea.
- Elaborar planos eléctricos completos y verificables.

La **Figura 5-29** presenta una secuencia general para la implementación del sistema de energía y electrificación en operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico. Esta secuencia integra las principales etapas para la planificación, instalación, operación y mantenimiento de la infraestructura eléctrica, con el propósito de garantizar un suministro de energía seguro, eficiente y acorde con los requerimientos técnicos y normativos de la operación minera.

Figura 5-29

Secuencia para la implementación del sistema de energía y electrificación



Manejo y control de aguas

El manejo de aguas en minas subterráneas de carbón es un aspecto crítico para la seguridad de los trabajadores, la continuidad operacional y la protección ambiental. La presencia de aguas subterráneas y de infiltración superficial exige sistemas de drenaje y bombeo diseñados específicamente para ambientes, donde las condiciones geológicas y la generación de escorrentías pueden comprometer la estabilidad de las labores.

La **Figura 5-30** presenta un esquema general del manejo de aguas en minería subterránea, destacando las principales actividades orientadas a la captación, conducción, almacenamiento, bombeo y disposición del agua generada o infiltrada durante las operaciones mineras. La implementación de estas medidas contribuye a mantener condiciones adecuadas de seguridad, proteger la infraestructura de la mina y reducir los impactos sobre el recurso hídrico y el entorno.

Figura 5-30

Manejo de aguas en minería (subterránea)



Buena práctica

Implementar un sistema integral de manejo y control de aguas que garantice la evacuación segura y oportuna de caudales, se adapte a las condiciones hidrogeológicas del yacimiento y cumpla con la normativa minera y ambiental vigente.

Para establecer un sistema de control de aguas, el proyecto debe considerar los siguientes aspectos técnicos y operativos:

- Garantizar seguridad operacional frente a inundaciones.
- Adaptar el sistema a las condiciones hidrogeológicas.
- Cumplir la normativa minera y ambiental.
- Diseñar rutas de evacuación eficientes.
- Instalar estaciones de bombeo con redundancia.
- Construir cunetas, canales y reservorios adecuados.
- Realizar cálculos hidráulicos completos.
- Presentar planos detallados y verificables.

Una vez definidos el método de explotación, el diseño de las labores y las actividades operativas asociadas al beneficio del carbón es necesario incorporar los sistemas técnicos que garantizan la seguridad, continuidad y eficiencia de la operación minera. Entre estos se encuentran el sistema hidráulico para el manejo de aguas, el sostenimiento de las excavaciones y la ventilación de la mina, cuyos diseños deben integrarse desde las etapas de planeamiento para asegurar condiciones adecuadas de estabilidad, control de riesgos y desempeño operacional.

La **Figura 5-31** presenta los principales lineamientos técnicos que orientan el diseño de estos sistemas de apoyo a la operación minera.



Figura 5-31

Lineamientos técnicos para los sistemas de apoyo a la operación minera



5.4.1.5. Sostenimiento

El sostenimiento constituye uno de los componentes fundamentales del diseño de una mina subterránea de carbón, ya que permite mantener la estabilidad de las excavaciones y garantizar condiciones seguras para el desarrollo de las labores mineras. Su diseño debe fundamentarse en la caracterización geomecánica del macizo rocoso, el método de explotación seleccionado, la geometría de las excavaciones y las condiciones operacionales previstas.

La selección del sistema de sostenimiento debe orientarse a controlar los mecanismos de falla, preservar la estabilidad de las labores y reducir los riesgos asociados al desprendimiento de roca y carbón.

La **Figura 5-32** presenta los principales sistemas de sostenimiento utilizados en minería subterránea de carbón.



Figura 5-32

Principales sistemas de sostenimiento
en minería subterránea de carbón



Buena practica

Implementar sistemas de sostenimiento que garanticen la estabilidad de las labores subterráneas, sean compatibles con las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y respondan al método de explotación seleccionado.

Se recomienda:

- Evaluar las condiciones geomecánicas antes de definir el sistema de sostenimiento.
- Seleccionar el tipo de sostenimiento de acuerdo con las características del macizo rocoso y las dimensiones de las excavaciones.
- Realizar los análisis y cálculos necesarios para verificar la estabilidad de las labores.
- Elaborar planos técnicos que definan la ubicación, características y especificaciones del sostenimiento.
- Documentar la justificación técnica del sistema adoptado.
- Inspeccionar periódicamente el estado del sostenimiento durante la operación.

La **Figura 5-33** presenta el proceso general para el diseño del sistema de sostenimiento.

Figura 5-33

Paso a paso diseño sostenimiento



La figura resume los principales lineamientos que deben considerarse para el diseño del sistema de sostenimiento en minería subterránea. La selección de los elementos de sostenimiento debe fundamentarse en la caracterización geomecánica del macizo rocoso, las cargas actuantes y las condiciones operativas de la mina, garantizando la estabilidad de las excavaciones y la seguridad de los trabajadores. Asimismo, el diseño debe estar respaldado por criterios técnicos, cálculos de ingeniería y planos constructivos que definan las especificaciones de instalación, asegurando la compatibilidad del sostenimiento con el método de explotación y la continuidad de la operación minera.

5.4.1.6. Ventilación

La ventilación constituye un sistema esencial para garantizar condiciones atmosféricas seguras en las minas subterráneas de carbón. Su diseño debe asegurar el suministro de aire fresco, la dilución y evacuación de gases, el control del polvo y la remoción de contaminantes generados durante la explotación.

El sistema de ventilación debe diseñarse considerando la geometría de las labores, el método de explotación, la producción proyectada, las características de los equipos y las condiciones atmosféricas de la mina.

La **Figura 5-34** presenta el proceso general para el diseño del sistema de ventilación.

Figura 5-34

Proceso general para el diseño del sistema de ventilación



Buena práctica

Diseñar e implementar un sistema de ventilación principal y auxiliar que garantice condiciones atmosféricas seguras durante todas las etapas de la explotación minera.

Se recomienda:

- Realizar aforos de ventilación y levantamientos topográficos actualizados;
- Clasificar la mina de acuerdo con las condiciones atmosféricas y la presencia de gases;
- Proyectar el sistema de ventilación considerando el avance de la explotación;
- Seleccionar ventiladores con capacidad suficiente para satisfacer los requerimientos de aire;
- Implementar sistemas para el monitoreo y control de gases y atmósferas contaminadas;
- Establecer medidas para el control del polvo de carbón;
- Diseñar circuitos de ventilación que optimicen la distribución del aire;
- Elaborar planos actualizados del circuito de ventilación y de sus principales componentes.

5.4.1.7. Infraestructura minera

La infraestructura minera constituye el conjunto de obras, instalaciones y servicios indispensables para el desarrollo seguro y eficiente de un proyecto minero. Su diseño y ejecución deben cumplir estrictamente con la normatividad de seguridad vigente y responder a las necesidades operativas, productivas y ambientales de la mina.

La definición de la infraestructura se realiza con base en:

- Plano topográfico del área de influencia.
- Producción proyectada y requerimientos de personal.
- Características de los equipos y maquinaria a utilizar.

- Condiciones de servidumbre minera de predios (ocupación y paso).

Estos elementos permiten establecer el trazado y diseño de las vías principales y secundarias de acceso, así como la ubicación de las instalaciones de soporte.

Buena práctica

Diseñar y ejecutar infraestructura minera que garantice accesibilidad, seguridad, eficiencia operativa y cumplimiento normativo, integrando vías, instalaciones de soporte, obras hidráulicas y zonas de disposición de manera coherente con la producción proyectada y las condiciones del terreno.

Para establecer la infraestructura minera, el proyecto debe considerar los siguientes aspectos técnicos y operativos:

- Definir infraestructura con base en información técnica.
- Diseñar vías de acceso seguras.
- Establecer patios de acopio adecuados.
- Implementar infraestructura de soporte.
- Diseñar planta de procesamiento según producción.
- Construir instalaciones administrativas y operativas.
- Incorporar obras hidráulicas completas.
- Definir zonas de disposición estables y seguras.

El adecuado funcionamiento de una operación minera subterránea depende no solo del diseño de las labores bajo tierra, sino también de una infraestructura de superficie que garantice el desarrollo seguro y eficiente de las actividades de apoyo. Esta infraestructura debe planificarse de manera integrada, considerando las necesidades operativas, ambientales, logísticas y de seguridad del proyecto.

La **Figura 5-35** presenta los principales lineamientos técnicos que deben considerarse para el diseño de la infraestructura de superficie en operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico.



Figura 5-35

Lineamientos técnicos para el diseño de la infraestructura minera de superficie

La anterior figura refleja los principales lineamientos para el diseño de la infraestructura minera en operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico. La planificación de la infraestructura debe integrar aspectos relacionados con la localización de las obras mineras, el diseño de vías de acceso y circulación, las instalaciones de superficie, las plantas de transformación, los patios de acopio, las obras hidráulicas, la infraestructura de soporte y las zonas destinadas a la disposición de materiales. La adecuada articulación de estos componentes contribuye a optimizar la operación, fortalecer la seguridad, facilitar la logística del proyecto y promover una gestión eficiente de los recursos, en concordancia con las condiciones técnicas, ambientales y operativas de la explotación minera.



Buena práctica

Diseñar, construir y operar botaderos de estéril que garanticen la estabilidad geotécnica, la capacidad de almacenamiento requerida, la seguridad operacional y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Se recomienda:

- Seleccionar adecuadamente el sitio para la disposición de estériles.
- Diseñar el botadero considerando la capacidad requerida y la vida útil proyectada.
- Estimar los volúmenes de material estéril generados durante la explotación.
- Realizar estudios geotécnicos para definir las condiciones de estabilidad.
- Determinar la capacidad portante del terreno y los asentamientos esperados.
- Establecer las medidas de control geotécnico necesarias para la operación del botadero.
- Definir áreas para el almacenamiento y conservación del suelo orgánico cuando corresponda.

5.4.1.8. Manejo y disposición de estériles

El manejo y la disposición de estériles constituyen componentes fundamentales del diseño y la operación de proyectos de minería subterránea, debido a su incidencia en la estabilidad geotécnica, la seguridad operacional y el desempeño ambiental de la explotación. La adecuada planificación de los botaderos permite garantizar una disposición segura de los materiales, optimizar el uso del espacio disponible y prevenir riesgos asociados a la inestabilidad de taludes, la erosión y el manejo de aguas superficiales.

El diseño de las áreas de disposición debe sustentarse en estudios geotécnicos que permitan determinar la capacidad portante del terreno, la estabilidad de los taludes y la capacidad de almacenamiento requerida durante la vida útil del proyecto. Asimismo, debe incorporar criterios para el manejo de aguas, el control de la erosión y la recuperación progresiva de las áreas intervenidas.

La planificación de los botaderos debe integrar criterios de localización, capacidad, estabilidad y manejo ambiental, con el fin de garantizar una disposición segura de los materiales estériles durante todas las etapas de la explotación. La **Figura 5-36** resume los principales lineamientos técnicos que deben considerarse para el diseño de botaderos de estéril.



Figura 5-36

Lineamientos técnicos que deben considerarse para el diseño de botaderos de estéril



Como herramienta de apoyo para verificar la implementación de las buenas prácticas descritas en esta sección, en el **Anexo 5.1. Listas de chequeo y/o verificación de buenas prácticas mineras, Ítem 4. Diseño de botaderos de estéril**, se presenta una lista de verificación que facilita la evaluación del cumplimiento de los principales criterios técnicos para el diseño, construcción y operación de botaderos de estéril.

Buena práctica

Garantizar condiciones seguras y sanitarias para los trabajadores mediante infraestructura, procedimientos y controles operativos, cumpliendo los parámetros exigidos por la normativa minera.

Para establecer la seguridad e higiene minera, el proyecto debe considerar los siguientes aspectos técnicos y operativos:

- Cumplir parámetros ambientales y límites permisibles.
- Garantizar ventilación mínima requerida.
- Controlar polvo, gases y ruido.
- Mantener señalización visible y actualizada.
- Asegurar rutas de evacuación y puntos de encuentro.
- Disponer de instalaciones higiénicas adecuadas.
- Contar con equipos de emergencia y primeros auxilios.
- Aplicar PTS actualizados y socializados.
- Gestionar EPP de manera integral.



5.4.1.9. Seguridad e higiene minera

La seguridad e higiene minera constituyen componentes transversales del planeamiento y la operación de una mina subterránea de carbón. Debido a la presencia de riesgos asociados a atmósferas explosivas, polvo respirable, condiciones geomecánicas, ruido y otros peligros propios de la actividad, es indispensable implementar medidas preventivas que protejan la salud y la seguridad de los trabajadores y aseguren la continuidad de la operación.

Buena práctica

Implementar un sistema integral de seguridad e higiene minera que garantice condiciones adecuadas para el desarrollo de las labores, reduzca la exposición a los riesgos inherentes a la actividad y cumpla con la normativa vigente.

Se recomienda:

- Cumplir los parámetros ambientales y los límites máximos permisibles;
- Garantizar los caudales mínimos de ventilación requeridos;
- Controlar la exposición a polvo, gases y ruido;
- Mantener la señalización visible y actualizada;
- Establecer rutas de evacuación y puntos de encuentro claramente identificados;
- Disponer de instalaciones higiénicas adecuadas;
- Contar con equipos para atención de emergencias y primeros auxilios;
- Implementar y socializar procedimientos de trabajo seguro;
- Gestionar integralmente los elementos de protección personal.

La gestión de la seguridad e higiene minera requiere integrar medidas de prevención, control y respuesta frente a los principales riesgos presentes durante la explotación subterránea. La **Figura 5-37** presenta los principales lineamientos para la implementación de un sistema integral de seguridad e higiene minera

Figura 5-37

Paso a paso Higiene y seguridad



Como herramienta de apoyo para verificar la implementación de estas medidas, en el Anexo 5.1. Listas de chequeo y/o verificación de buenas prácticas mineras, Ítem 5. Seguridad y salud en el trabajo y gestión de riesgos críticos, se presenta una lista de verificación que facilita la evaluación del cumplimiento de las principales buenas prácticas en materia de seguridad e higiene minera.

5.4.1.10. Producción y cronograma de actividades

La planificación de la producción y la estructuración del cronograma de actividades constituyen elementos fundamentales en la gestión de proyectos de minería subterránea de carbón. Estos componentes permiten garantizar la coherencia entre la capacidad operativa, la infraestructura disponible y las metas de explotación, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente y la sostenibilidad del proyecto.

Buena práctica

Planificar la producción y estructurar el cronograma de actividades con base en la capacidad operativa real de la mina, la infraestructura disponible y las metas de explotación, garantizando coherencia técnica, cumplimiento normativo y sostenibilidad del proyecto.

Para establecer la producción y el cronograma de actividades, el proyecto debe considerar los siguientes aspectos técnicos y operativos:

- Sustentar la producción proyectada con análisis técnico.
- Determinar productividad del personal por turno.
- Calcular capacidad operativa de maquinaria y equipos.
- Estimar producción escalonada por periodos.
- Elaborar un cronograma integral del contrato.
- Asegurar coherencia entre cronograma y diseño minero.
- Ajustar producción a normativa vigente.

La planificación de la producción y la programación de las actividades permiten coordinar el desarrollo de la explotación minera con la capacidad operativa, la disponibilidad de recursos y las metas de producción establecidas para el proyecto. Su elaboración debe fundamentarse en criterios técnicos que aseguren la ejecución ordenada de las labores y la optimización de los recursos disponibles.

La **Figura 5-38** presenta el proceso general para la planificación de la producción y el cronograma de actividades.

Figura 5-38

Proceso general para la planificación de la producción y el cronograma de actividades



La figura expone un proceso que integra el análisis de las labores mineras, la estimación de la productividad, la disponibilidad de maquinaria y equipos, el cálculo de la producción proyectada y la programación de las actividades de desarrollo, preparación y explotación. La aplicación de estos lineamientos favorece la coherencia entre el diseño minero, la capacidad operativa y las metas de producción, contribuyendo a optimizar el uso de los recursos, mejorar la eficiencia de la operación y facilitar el seguimiento del avance del proyecto

planeamiento y la operación de acuerdo con las condiciones reales de la mina.

La aplicación de estas recomendaciones permite desarrollar proyectos de explotación subterránea de carbón metalúrgico con un enfoque integral, favoreciendo la estabilidad de las labores, la protección de los trabajadores, el uso eficiente de los recursos y la sostenibilidad de la operación a largo plazo.

5.4.1.11. Recomendaciones generales

Las recomendaciones presentadas en este capítulo constituyen criterios técnicos transversales que deben incorporarse de manera integral durante las etapas de planeamiento, desarrollo, explotación, beneficio y cierre de las operaciones de minería subterránea de carbón metalúrgico. Su aplicación contribuye a fortalecer la seguridad operacional, optimizar el aprovechamiento del recurso, mejorar el desempeño ambiental y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.

Para el diseño y la planificación de una operación minera se recomienda:

- Integrar los estudios geológicos, geomecánicos, hidrogeológicos, ambientales y operacionales como base para la toma de decisiones.
- Priorizar la seguridad y salud en el trabajo mediante la identificación, evaluación y control de los riesgos asociados a la actividad minera.
- Planificar la explotación considerando criterios de eficiencia técnica, productividad y sostenibilidad económica.
- Incorporar medidas para la prevención, mitigación y control de los impactos ambientales durante todo el ciclo de vida del proyecto.
- Asegurar el cumplimiento de la legislación minera, ambiental, laboral y de seguridad y salud en el trabajo aplicable.
- Implementar procesos de seguimiento, evaluación y mejora continua que permitan ajustar el





6. PLANEAMIENTO MINERO

El planeamiento minero corresponde al proceso mediante el cual se organiza y programa el desarrollo de la explotación, definiendo la secuencia de las actividades, el aprovechamiento del recurso mineral y la utilización de los recursos técnicos, humanos y económicos durante el ciclo de vida del proyecto.

Su propósito es establecer una estrategia de explotación técnicamente viable, segura, eficiente y ambientalmente responsable, considerando las características del depósito, las condiciones geológicas, geomecánicas, operacionales, económicas, ambientales y sociales, así como el cumplimiento de la normativa minera vigente.

Un adecuado planeamiento permite optimizar la recuperación del carbón, mejorar la productividad, reducir los riesgos operacionales y facilitar la toma de decisiones durante las diferentes etapas del proyecto.

Para proyectos de minería de carbón, el planeamiento estratégico se estructura en diferentes horizontes temporales que permiten coordinar las actividades de corto, mediano y largo plazo con los objetivos generales de la explotación. De acuerdo con Castro (1982), estos horizontes comprenden la planificación estratégica (largo plazo), táctica (mediano plazo), operativa (corto plazo) y las actividades asociadas al cierre y poscierre de la mina.

6.1. Planeación estratégica – largo plazo

La planeación estratégica define la visión de largo plazo del proyecto minero y establece los lineamientos que orientarán el desarrollo de la explotación durante toda su vida útil. En esta etapa se determinan las metas de producción, la secuencia general de explotación, las inversiones requeridas y las estrategias para garantizar la sostenibilidad técnica, económica, ambiental y social del proyecto.



Su elaboración debe fundamentarse en información técnica confiable y en una evaluación integral de las condiciones del yacimiento y del entorno donde se desarrollará la operación minera.

Aspectos generales para la planeación estratégica

Durante la formulación de la planeación estratégica se recomienda:

- Proyectar la explotación considerando la vida útil estimada de la mina.
- Definir objetivos de producción acordes con las características del depósito y la capacidad operativa.
- Integrar aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales y normativos en la planificación.
- Establecer estrategias que permitan optimizar el aprovechamiento del recurso y garantizar la sostenibilidad del proyecto.

Caracterización inicial del proyecto

Antes de elaborar el planeamiento minero es necesario realizar una caracterización del estado actual del proyecto. De acuerdo con Herrera (2018), esta evaluación permite definir el alcance de la planificación y establecer las estrategias más apropiadas para cada caso.

Se recomienda identificar, entre otros aspectos:

- Si la mina se encuentra en operación;
- Si el proyecto corresponde a una etapa de exploración o preparación;
- Si el objetivo es ampliar, optimizar o modernizar una explotación existente.

Definición del alcance del planeamiento

El documento técnico de planeamiento debe establecer claramente el alcance del proyecto y definir los componentes que serán desarrollados durante la explotación.

- Entre ellos se encuentran.
- Diseño minero.
- Método de explotación.
- Infraestructura y servicios mineros.
- Programación de la producción.
- Requerimientos de personal, equipos e inversiones.
- Aspectos ambientales y de seguridad.
- Mecanismos de seguimiento y control.

Asimismo, el planeamiento debe estructurarse con criterios de viabilidad técnica y económica, garantizando que las actividades propuestas puedan ejecutarse de manera coherente y verificable durante el desarrollo del proyecto y que permitan dar cumplimiento a los compromisos adquiridos con las autoridades competentes y demás partes interesadas.

La planeación estratégica de largo plazo requiere integrar información geológica, técnica, operativa, ambiental, económica y social para orientar el desarrollo sostenible de la explotación durante toda la vida útil del proyecto. La adecuada articulación de estos componentes permite anticipar necesidades de infraestructura, inversiones, producción, gestión de riesgos y cierre minero, facilitando la toma de decisiones estratégicas.

La **Figura 6-1** presenta las principales buenas prácticas que deben considerarse durante la planeación minera de largo plazo.



Figura 6-1

Buenas prácticas para planeamiento a largo plazo



Buena práctica

Desarrollar una planeación estratégica que integre los aspectos técnicos, operacionales, ambientales, económicos y de seguridad necesarios para garantizar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto durante toda su vida útil.

Se recomienda:

- Delimitar el área objeto del proyecto conforme al polígono autorizado y a las condiciones establecidas en el proceso de formalización minera.
- Evaluar los recursos y la calidad de los mantos de carbón previstos para la explotación, susten-

tando la planificación en información geológica confiable.

- Desarrollar un modelo geológico que represente la geometría del depósito, la continuidad de los mantos y las principales estructuras geológicas;
- Realizar estudios geotécnicos, hidrogeológicos y de caracterización del macizo rocoso que respalden el diseño de las labores mineras y de las obras de superficie.
- Elaborar el diseño minero de largo plazo, definiendo los métodos de explotación, los equipos, la infraestructura y los servicios mineros requeridos durante la vida útil del proyecto.



- Programar las inversiones necesarias en maquinaria, equipos e infraestructura de acuerdo con las etapas de desarrollo de la explotación.
- Establecer planes de producción e indicadores de gestión alineados con los objetivos estratégicos del proyecto.
- Incorporar el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) y los mecanismos para la identificación, evaluación y control de los riesgos críticos asociados a la actividad minera;
- Integrar el plan de cierre y abandono desde las etapas iniciales del planeamiento, definiendo el manejo de estériles y las estrategias de recuperación de las áreas intervenidas;
- Evaluar los impactos ambientales acumulativos y los riesgos de largo plazo, implementando medidas para prevenir la generación de pasivos ambientales y sociales.

Como herramienta de apoyo para verificar la implementación de las buenas prácticas descritas en esta sección, en el **Anexo 6.1. Listas de chequeo y/o verificación de buenas prácticas mineras, Ítem 1. Planeamiento minero de largo plazo**, se presenta una lista de verificación que facilita la evaluación del cumplimiento de los principales criterios técnicos para la formulación y seguimiento del planeamiento estratégico de largo plazo

6.2. Planeación táctica – mediano plazo

La planeación táctica corresponde al nivel en el que los lineamientos definidos en la planeación estratégica se traducen en programas y actividades específicas para su ejecución durante el mediano plazo. Su propósito es coordinar los recursos, programar las labores mineras y establecer mecanismos de seguimiento que permitan cumplir las metas de producción, garantizando la eficiencia operacional y la sostenibilidad del proyecto.

Esta etapa constituye el vínculo entre la visión estratégica de largo plazo y la ejecución operativa de corto plazo, permitiendo ajustar la planificación de

acuerdo con las condiciones reales de la mina y los resultados obtenidos durante la explotación.

6.2.1. Objetivos de la planeación táctica

La planeación táctica tiene como principales objetivos:

- Implementar los lineamientos técnicos definidos en la planeación estratégica.
- Programar las actividades necesarias para alcanzar las metas de producción.
- Optimizar la utilización de los recursos humanos, técnicos y financieros.
- Realizar el seguimiento al desempeño operativo mediante indicadores de gestión.
- Asegurar el cumplimiento de los objetivos técnicos, económicos, ambientales y de seguridad establecidos para el proyecto.

6.2.2. Componentes de la planeación táctica

Durante esta etapa se elaboran los planes de producción de mediano plazo, los cuales generalmente comprenden periodos trimestrales o anuales y permiten organizar las actividades necesarias para el desarrollo de la explotación. Estos planes deben incluir, entre otros aspectos:

- Metas de producción por periodos definidos.
- Programación de labores de desarrollo, preparación y explotación.
- Secuencia de avance de los frentes de trabajo;
- Asignación de personal, equipos y servicios mineros.
- Programación de actividades de sostenimiento, ventilación y mantenimiento.
- Indicadores para el seguimiento y evaluación del cumplimiento de las metas.



6.2.3. Beneficios de la planeación táctica

La implementación de una adecuada planeación táctica contribuye a:

- Mejorar el control de las operaciones mineras;
- Optimizar el uso de los recursos disponibles;
- Identificar oportunamente desviaciones respecto a la planificación;
- Fortalecer la toma de decisiones mediante información técnica actualizada;
- Mantener la continuidad y estabilidad de la producción.

6.2.4. Buenas prácticas para un planeamiento a mediano plazo

La planeación táctica debe apoyarse en información técnica actualizada que permita ajustar permanentemente el desarrollo de la explotación de acuerdo con las condiciones geológicas, geotécnicas y operacionales de la mina.

La **Figura 6-2** presenta las principales buenas prácticas para la planeación minera de mediano plazo.

Figura 6-2

Buenas prácticas planeamiento a mediano plazo



Buena práctica

Implementar una planeación táctica que permita programar, controlar y optimizar las actividades de explotación mediante el seguimiento permanente de las condiciones técnicas y operacionales de la mina.

Se recomienda:

- Actualizar periódicamente la estimación de reservas considerando los frentes activos y las labores programadas para el mediano plazo.
- Realizar la evaluación geológica continua de los mantos de carbón, incorporando información sobre espesores, estructuras, discontinuidades y comportamiento hidrogeológico.
- Desarrollar estudios geotécnicos que permitan evaluar la estabilidad del macizo rocoso y definir los sistemas de sostenimiento requeridos para cada sector de la mina.
- Ajustar el diseño minero de acuerdo con las condiciones reales de explotación, estableciendo la programación de labores, recursos y metas de producción.
- Elaborar cronogramas de trabajo que definan frentes de explotación, recursos requeridos y producción esperada por manto.
- Implementar indicadores para evaluar el desempeño operacional relacionados con la producción, calidad del carbón, consumo de insumos, utilización de equipos y productividad.
- Fortalecer la implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) mediante la identificación, evaluación y control de los riesgos específicos de la operación.
- Mantener programas permanentes de monitoreo de gases, polvo respirable y ventilación, conforme a los procedimientos establecidos.
- Actualizar periódicamente el Plan de Emergencias con base en los resultados del análisis de vulnerabilidad y de los riesgos identificados durante la operación.

6.3. Planeación operativa – corto plazo

La planeación operativa corresponde al nivel de planificación en el que se ejecutan, controlan y ajustan las actividades diarias de la operación minera. Su propósito es garantizar el cumplimiento de las metas de producción establecidas mediante el seguimiento permanente de los indicadores operacionales, la disponibilidad de los recursos y la atención oportuna de las desviaciones identificadas durante la explotación.

Este nivel de planificación constituye el principal mecanismo para coordinar las actividades de los frentes de trabajo, optimizar el uso de los recursos disponibles y mantener la continuidad de la operación.

6.3.1. Objetivos de la planeación operativa

La planeación operativa tiene como principales objetivos:

- Ejecutar las actividades programadas en la planeación táctica.
- Realizar el seguimiento permanente a la producción diaria, semanal y mensual.
- Identificar oportunamente las desviaciones operacionales.
- Implementar acciones correctivas que permitan mantener el cumplimiento de las metas de producción.
- Optimizar la utilización de equipos, materiales y recursos humanos.

6.3.2. Componentes de la planeación operativa

Para garantizar un adecuado control de la operación se recomienda desarrollar las siguientes actividades.

6.3.2.1. Recopilación de información operacional clave

Registrar y consolidar información relacionada con:

- Producción de carbón por turno, día o semana.
- Avance de labores de desarrollo, preparación y explotación.
- Tiempos de los ciclos operativos.
- Disponibilidad y utilización de equipos.
- Paradas programadas y no programadas.
- Productividad del personal.

6.3.2.2. Seguimiento al desempeño operacional

Comparar los resultados obtenidos con las metas establecidas para identificar:

- Desviaciones en la producción.
- Retrasos en el avance de las labores.
- Restricciones operacionales.
- Sobrecostos o consumos superiores a los previstos.
- Oportunidades de mejora en los procesos.

6.3.2.3. Planes de mejora inmediata

Definir e implementar medidas que permitan:

- Recuperar el cumplimiento de las metas de producción.
- Optimizar la utilización de recursos.
- Reducir tiempos improductivos.
- Mejorar el desempeño de los procesos operacionales.
- Fortalecer la coordinación entre las diferentes áreas de la mina.



6.3.2.4. Seguimiento y control de recursos e insumos

Realizar el seguimiento permanente al consumo de:

- Combustibles.
- Explosivos.
- Elementos de sostenimiento.
- Energía eléctrica.
- Materiales e insumos.
- Mano de obra.

Lo anterior permite identificar pérdidas, desperdicios y oportunidades para mejorar la eficiencia operacional.

6.3.3. Beneficios de la planeación operativa

La implementación de una adecuada planeación operativa permite:

- Mejorar la estabilidad de la producción.
- Optimizar el uso de los recursos disponibles.
- Reducir costos operacionales.
- Fortalecer la toma de decisiones mediante información actualizada.
- Promover la mejora continua de los procesos mineros.

6.3.4. Buenas prácticas para la planeación operativa

La planeación operativa requiere un seguimiento permanente de las actividades ejecutadas en la mina, permitiendo verificar el cumplimiento de la programación establecida y adoptar oportunamente las acciones correctivas necesarias para garantizar la continuidad y eficiencia de la explotación.

La **Figura 6-3** presenta las principales buenas prácticas para la planeación minera de corto plazo.

Figura 6-3

Buenas prácticas planeamiento operativo



Buena práctica

Implementar un sistema de seguimiento y control que permita evaluar diariamente el desempeño operacional de la mina, facilitando la toma de decisiones oportunas y el cumplimiento de las metas de producción establecidas.

6.4. Planeación de cierre y poscierre

La planeación del cierre y poscierre constituye una etapa fundamental del planeamiento minero, ya que permite definir las acciones necesarias para garantizar que, una vez finalizada la explotación, el área intervenida alcance condiciones de estabilidad física, química, ambiental y social compatibles con el uso futuro previsto del territorio.

Su formulación debe iniciarse desde las primeras etapas del proyecto minero e integrarse al planeamiento estratégico, táctico y operativo, de manera que las actividades de cierre puedan ejecutarse de forma progresiva durante la vida útil de la mina.

El proceso de cierre comprende la identificación de los riesgos asociados al abandono de las labores, la implementación de medidas de recuperación y estabilización, el seguimiento de los resultados obtenidos y el desarrollo de actividades de monitoreo durante el periodo de poscierre.



Como lo señala el **ICMM (2019)**, las empresas mineras deben asegurar el cumplimiento de la legislación aplicable y desarrollar procesos de cierre responsables que garanticen la protección del ambiente, la seguridad de las personas y la sostenibilidad de los territorios intervenidos.

6.4.1. Recopilación de información ambiental de referencia

La recopilación de información ambiental histórica constituye la línea base para evaluar los efectos generados por la actividad minera y definir las medidas de cierre y poscierre que deberán implementarse en el proyecto.

Esta información permite identificar cambios en los componentes ambientales, establecer programas de monitoreo y verificar la efectividad de las acciones de recuperación ejecutadas después del cierre de la mina.

La información ambiental recopilada durante las diferentes etapas del proyecto constituye un insumo fundamental para evaluar las condiciones del área intervenida y planificar las actividades de recuperación y seguimiento. La **Figura 6-4** presenta los principales criterios para la recopilación de información ambiental de referencia.

La figura resume los principales criterios que deben considerarse para la recopilación de la información ambiental de referencia durante las etapas de planeamiento minero. La integración de información histórica, cartográfica, climática, hidrológica, geológica, biótica y socioambiental permite construir una línea base confiable para identificar las condiciones iniciales del área de influencia, evaluar los posibles impactos ambientales y orientar la formulación de medidas de prevención, manejo, mitigación, compensación y seguimiento. Una adecuada recopilación de esta información constituye un insumo fundamental para la planificación ambiental del proyecto y el cumplimiento de los requisitos técnicos y normativos aplicables.

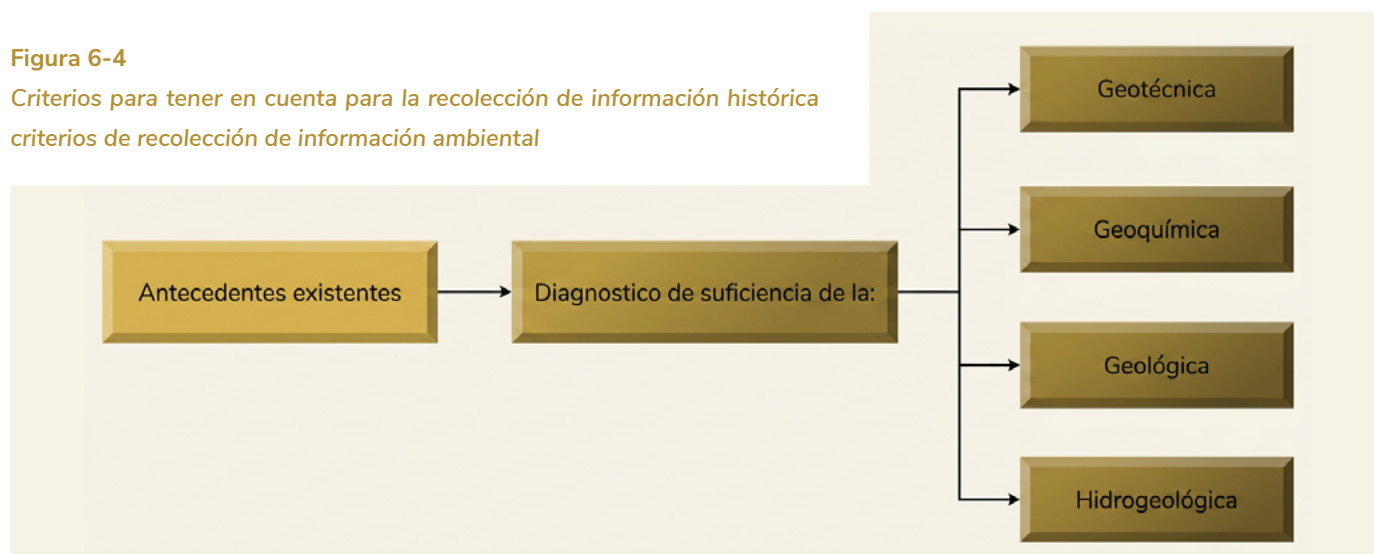
6.4.2. Identificación de la infraestructura minera remanente

La identificación y caracterización de la infraestructura remanente permite evaluar los riesgos físicos, ambientales y de seguridad que pueden permanecer una vez concluida la explotación minera.

Esta evaluación facilita la definición de las medidas necesarias para la estabilización, el desmantelamiento o la conservación de las instalaciones, así como la planificación de las actividades de seguimiento durante el periodo de poscierre.

Figura 6-4

Criterios para tener en cuenta para la recolección de información histórica
criterios de recolección de información ambiental



Entre los principales elementos que deben identificarse se encuentran:

- Labores mineras abandonadas.
- Bocaminas y accesos.
- Botaderos de estéril.
- Plantas de beneficio.
- Vías de acceso.
- Sistemas hidráulicos y de drenaje.
- Infraestructura eléctrica.
- Depósitos de combustibles e insumos.
- Demás instalaciones asociadas a la operación minera.

La caracterización de la infraestructura remanente permite priorizar las acciones de intervención y establecer los controles requeridos para minimizar los riesgos durante las etapas de cierre y poscierre. La **Figura 6-5** presenta ejemplos de infraestructura minera remanente que debe considerarse durante la planificación del cierre.

Figura 6-5
Instalaciones remanentes



La figura presenta ejemplos de infraestructura minera remanente que debe identificarse y evaluarse durante la planificación del cierre de la operación. Estas instalaciones pueden incluir edificaciones, vías de acceso, patios de acopio, sistemas de transporte, obras hidráulicas, redes eléctricas, plantas de beneficio y demás estructuras que, una vez finalizadas las actividades mineras, requieren ser desmanteladas, adecuadas, rehabilitadas o destinadas a un nuevo uso. Su identificación temprana facilita la definición de las actividades de cierre, la estimación de los recursos necesarios y la implementación de medidas orientadas a garantizar la

estabilidad física, la protección ambiental y la seguridad del área intervenida.

Instalaciones complementarias y auxiliares

Durante la planificación del cierre también se deben identificar y evaluar las instalaciones complementarias y auxiliares que puedan representar riesgos o requieran actividades de desmantelamiento, adecuación o recuperación.

Entre ellas se encuentran:

- Instalaciones de almacenamiento.
- Tolvas y sistemas de almacenamiento temporal de materiales.
- Sistemas de transporte y cargue;.
- Infraestructura administrativa y de servicios (alojamientos, comedores, baterías sanitarias y oficinas).
- Infraestructura para el suministro de energía eléctrica.
- Instalaciones destinadas a la seguridad física del proyecto.

Identificación y evaluación de riesgos

La identificación y evaluación de riesgos constituye un proceso fundamental para la planificación del cierre y poscierre, ya que permite reconocer los peligros asociados a la infraestructura minera, las condiciones geológicas, el medio ambiente y los aspectos sociales que podrían afectar la estabilidad y seguridad del área intervenida.

Esta evaluación debe desarrollarse desde las etapas iniciales del proyecto y actualizarse periódicamente durante la explotación, de manera que las medidas de prevención, control y mitigación puedan incorporarse oportunamente al plan de cierre.

Para ello se recomienda considerar, entre otros aspectos:

- Evaluación de las condiciones actuales de la mina, tanto en labores subterráneas como en superficie.



- Revisión de los registros históricos de monitoreo ambiental, seguridad minera e incidentes operacionales.
- Consulta de especialistas en geología, geotecnia, hidrogeología, ingeniería de minas y gestión ambiental.
- Verificación del cumplimiento de la normativa minera, ambiental y de seguridad vigente.
- Aplicación de metodologías para la identificación, evaluación y priorización de riesgos.

La evaluación de riesgos debe realizarse de forma continua durante la operación minera, permitiendo actualizar el plan de cierre conforme evolucionen las condiciones de la explotación. Los resultados obtenidos constituyen la base para definir las medidas de prevención, mitigación y control que deberán implementarse tanto durante la operación como en las etapas de cierre y poscierre.

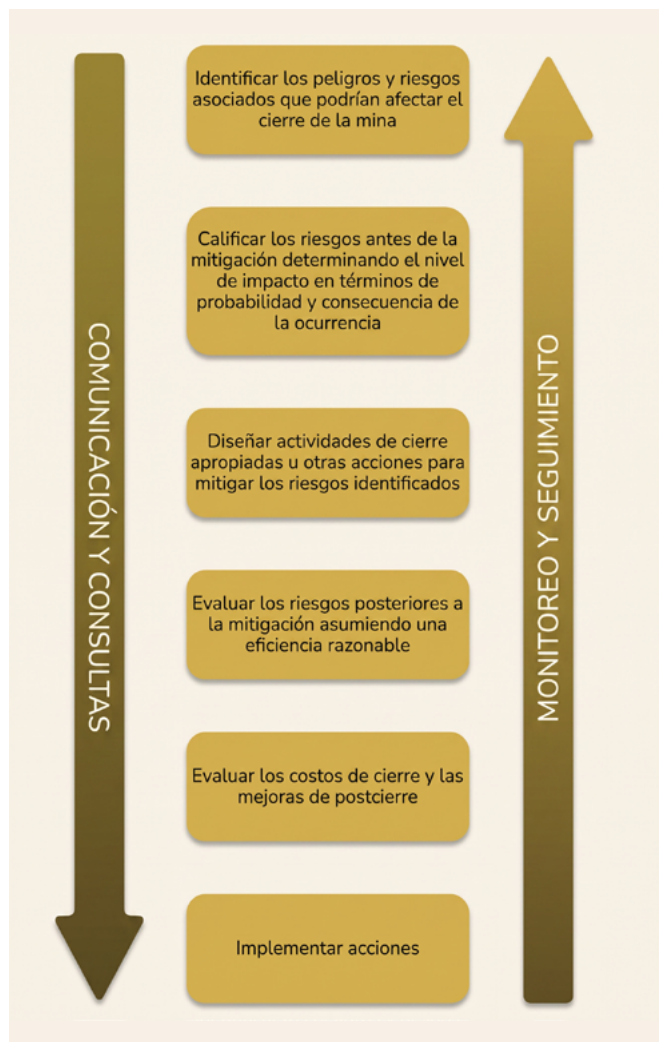
La evaluación de riesgos durante la planificación del cierre requiere una metodología que permita identificar, analizar y priorizar los eventos que pueden afectar la estabilidad física, química, ambiental y social del proyecto. Este proceso facilita la definición de medidas de prevención, mitigación, seguimiento y control, orientadas a reducir los impactos durante las etapas de cierre y poscierre.

La **Figura 6-6** presenta un esquema general para la valoración y priorización de los riesgos asociados al cierre de una operación minera.

La frecuencia presentada se enfoca en la valoración y priorización de los riesgos asociados al cierre de una operación minera. El proceso comprende la identificación de los peligros y riesgos que pueden afectar el cierre de la mina, la evaluación de su probabilidad y consecuencias, el diseño e implementación de medidas de mitigación, la verificación de su efectividad y la estimación de los costos asociados al cierre y al poscierre. Asimismo, incorpora la comunicación y consulta con las partes interesadas, así como el monitoreo y seguimiento como actividades transversales que permiten evaluar la

Figura 6-6

Valoración y priorización de los riesgos



eficacia de las medidas implementadas y realizar los ajustes necesarios para garantizar un cierre seguro, ambientalmente responsable y técnicamente sostenible. Durante el cierre de una mina pueden presentarse diferentes riesgos que comprometen la estabilidad física y química del área intervenida. Su identificación y evaluación constituyen un insumo fundamental para definir las medidas de prevención, mitigación y control que garanticen la estabilidad del sitio y la protección del ambiente una vez finalizadas las actividades de explotación. La **Tabla 6-1** presenta los principales riesgos que deben ser considerados durante la planificación del cierre.



Tabla 6-1
Principales riesgos de estabilidad física y química asociados al cierre de minas de carbón

Riesgos de estabilidad física	Riesgos de estabilidad química
Inestabilidad de taludes Los taludes intervenidos durante la explotación pueden presentar deslizamientos o colapsos si no se implementan medidas adecuadas de estabilización y mantenimiento.	Drenaje ácido de mina (DAM) La interacción entre agua, oxígeno y minerales sulfurados puede generar soluciones ácidas que movilizan metales y contaminan los cuerpos de agua y los suelos.
Erosión de botaderos La acción del agua y del viento puede ocasionar pérdida de material, inestabilidad de los botaderos y transporte de sedimentos hacia áreas circundantes.	Contaminación de aguas subterráneas La infiltración de aguas contaminadas puede afectar la calidad de los acuíferos y comprometer el abastecimiento de agua y los ecosistemas asociados.
Inundaciones La presencia de cuerpos de agua, sistemas de drenaje o excavaciones inundadas puede generar riesgos si no se implementan medidas adecuadas para el manejo y control del recurso hídrico durante el cierre.	Liberación de gases y material particulado La emisión de gases o partículas provenientes de labores abandonadas, botaderos u otras instalaciones puede representar riesgos para la salud humana y el ambiente.
Subsidencia o hundimiento del terreno La extracción del carbón puede generar deformaciones del terreno como consecuencia del colapso de cavidades o del asentamiento progresivo del macizo rocoso.	Movilización de contaminantes Los contaminantes presentes en botaderos, depósitos de estériles u otras estructuras pueden dispersarse por erosión o infiltración de agua, afectando el suelo y los cuerpos de agua cercanos.

La **Figura 6-7** presenta un esquema general para la valoración del riesgo asociado a las instalaciones remanentes durante el cierre de una operación minera. El análisis integra las condiciones de la infraestructura, la probabilidad de ocurrencia de eventos naturales o antrópicos y la severidad de las posibles consecuencias sobre las personas y el medio ambiente, proporcionando criterios para priorizar las medidas de manejo durante las etapas de cierre y poscierre.

Figura 6-7
valoración de los riesgos



La valoración del riesgo de las instalaciones remanentes permite identificar aquellas estructuras que requieren intervenciones prioritarias para garantizar la estabilidad física del área intervenida y prevenir impactos ambientales y riesgos para las personas. Este análisis considera las condiciones en que permanece la infraestructura al finalizar la operación, las medidas de cierre previstas y la posibilidad de ocurrencia de eventos como sismos, inundaciones, infiltraciones, drenaje ácido de roca (DAR) o procesos de erosión. La evaluación conjunta de la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias constituye un insumo para definir las medidas de desmantelamiento, rehabilitación, estabilización, monitoreo y mantenimiento requeridas durante el cierre y el poscierre de la operación minera.

El periodo de poscierre tiene como propósito verificar la efectividad de las medidas implementadas durante el cierre de la mina y asegurar que las condiciones de estabilidad física, ambiental y social se mantengan en el tiempo. Para ello, es necesario desarrollar programas de seguimiento y monitoreo que permitan evaluar el desempeño de las acciones ejecutadas y, cuando sea necesario, implementar medidas de mejora que garanticen la sostenibilidad del área intervenida.

La **Figura 6-8** presenta las principales buenas prácticas que deben implementarse durante la etapa de poscierre de una operación minera.

Figura 6-8

Buenas prácticas para el plan poscierre



Las buenas prácticas para el poscierre se estructuran en tres componentes: físico, biótico y social. En conjunto, estos orientan las actividades de seguimiento y monitoreo necesarias para verificar la estabilidad de la infraestructura remanente, la recuperación ambiental de las áreas intervenidas y el cumplimiento de los compromisos adquiridos con las comunidades y demás partes interesadas. Asimismo, incluyen programas específicos para el monitoreo de vías internas, taludes, cuerpos de agua superficiales y áreas objeto de revegetalización, con el fin de asegurar la efectividad de las medidas implementadas durante el cierre de la mina.





7. OPTIMIZACIÓN DEL PLANEAMIENTO MINERO, MONITOREO Y CONTROL

La optimización del planeamiento minero corresponde al proceso de evaluación, seguimiento y mejora continua de las actividades desarrolladas durante la explotación, con el propósito de incrementar la eficiencia operacional, fortalecer la seguridad minera, optimizar el aprovechamiento del recurso y garantizar el cumplimiento de los objetivos técnicos, económicos, ambientales y sociales del proyecto.

Este proceso integra el monitoreo permanente de los indicadores de gestión con la implementación de acciones correctivas y de mejora, permitiendo ajustar oportunamente el diseño minero, los métodos de explotación, los procedimientos operacionales, las tecnologías empleadas y las estrategias de gestión ambiental y de seguridad y salud en el trabajo.



La optimización debe desarrollarse de manera continua durante todas las etapas del ciclo de vida de la mina, desde la planificación inicial hasta el cierre y el poscierre, promoviendo la mejora permanente de los procesos y la sostenibilidad de la operación.

7.1. Optimización del plan de minado

La optimización del plan de minado tiene como finalidad mejorar el desempeño de la operación mediante la evaluación permanente de los procesos productivos y la implementación de medidas orientadas a incrementar la eficiencia, reducir costos y garantizar el cumplimiento de las metas de producción bajo condiciones seguras y ambientalmente responsables.

Objetivos

La optimización del plan de minado busca:

- Incrementar la eficiencia de los procesos de explotación.
- Optimizar el aprovechamiento del carbón metalúrgico.
- Mantener la calidad del producto conforme a las especificaciones establecidas.
- Mejorar la organización de las labores y frentes de trabajo.
- Optimizar la utilización de personal, equipos e insumos.
- Fortalecer la seguridad operacional y el desempeño ambiental.

Acciones para la optimización

Entre las principales acciones orientadas al mejoramiento continuo del plan de minado se encuentran:

- Optimizar los ciclos de cargue, transporte y descarga.
- Ajustar los métodos de explotación de acuerdo con las condiciones geológicas y operacionales.
- Incorporar tecnologías que mejoren el monitoreo y el control de la operación.

- Fortalecer la planificación de las labores mediante el análisis permanente de los indicadores operacionales

Factores para evaluar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto

De acuerdo con Chayña (2020), la evaluación del desempeño de un proyecto minero debe considerar factores internos y externos que influyen en su viabilidad y sostenibilidad.

Factores internos

- Corresponden a aquellos que pueden ser gestionados directamente por la operación minera, entre ellos.
- Cumplimiento de la programación establecida.
- Eficiencia de los procesos operacionales.
- Control de costos y utilización de recursos.
- Desempeño del personal.
- Gestión de la seguridad y salud en el trabajo.

Factores externos

Comprenden las condiciones del entorno que pueden afectar el desarrollo del proyecto, tales como: Comportamiento del mercado del carbón;

- Cambios en la normativa minera y ambiental.
- Relacionamiento con comunidades y autoridades.
- Disponibilidad de bienes, insumos y servicios.

La viabilidad de un proyecto de pequeña minería de carbón metalúrgico depende de la evaluación integral de diversos factores técnicos, ambientales, sociales, legales y económicos que influyen en su desarrollo y sostenibilidad. El análisis de estos aspectos permite determinar la factibilidad de ejecutar el proyecto, identificar oportunidades de mejora, gestionar los riesgos asociados y orientar la toma de decisiones durante las etapas de planeamiento y operación minera.



La **Figura 7-1** presenta los principales factores que deben considerarse para evaluar la viabilidad de un proyecto minero.

Figura 7-1

Factores de viabilidad del proyecto



Los factores representados en la figura evidencian que la optimización del plan de minado depende de la interacción entre variables internas, relacionadas con la gestión técnica y operacional de la mina, y variables externas asociadas al entorno económico, normativo, ambiental y social. La evaluación conjunta de estos factores permite identificar oportunidades de mejora, fortalecer la toma de decisiones y garantizar la sostenibilidad del proyecto durante todo su ciclo de vida.

7.1.1. Optimización de la estimación de reservas

La estimación de recursos y reservas constituye uno de los principales insumos para la optimización del plan de minado, ya que proporciona la información técnica necesaria para planificar la explotación, proyectar los niveles de producción y garantizar el aprovechamiento eficiente del recurso mineral.

Para ello, es indispensable disponer de información geológica confiable, obtenida mediante métodos de exploración acordes con las características del

yacimiento y con el nivel de detalle requerido para la operación minera. Esta información debe permitir estimar, con un nivel adecuado de confianza, los volúmenes y la calidad del carbón, reduciendo la incertidumbre en la toma de decisiones y fortaleciendo la planificación de la explotación.

Los yacimientos de carbón pueden presentar una alta variabilidad geológica, estructural y geotécnica; por ello, es fundamental realizar una caracterización integral del depósito que permita evaluar la influencia de factores como:

- La geometría y continuidad de los mantos de carbón.
- La presencia de intercalaciones y estructuras geológicas.
- La profundidad de explotación;
- Las condiciones geomecánicas del techo, piso y respaldos.
- La calidad del carbón y su variabilidad.
- La relación de estas condiciones con los indicadores de producción, recuperación y costos de explotación.



La integración de esta información permite optimizar la estimación de reservas, seleccionar estrategias de explotación más eficientes y reducir los riesgos asociados a la incertidumbre geológica.

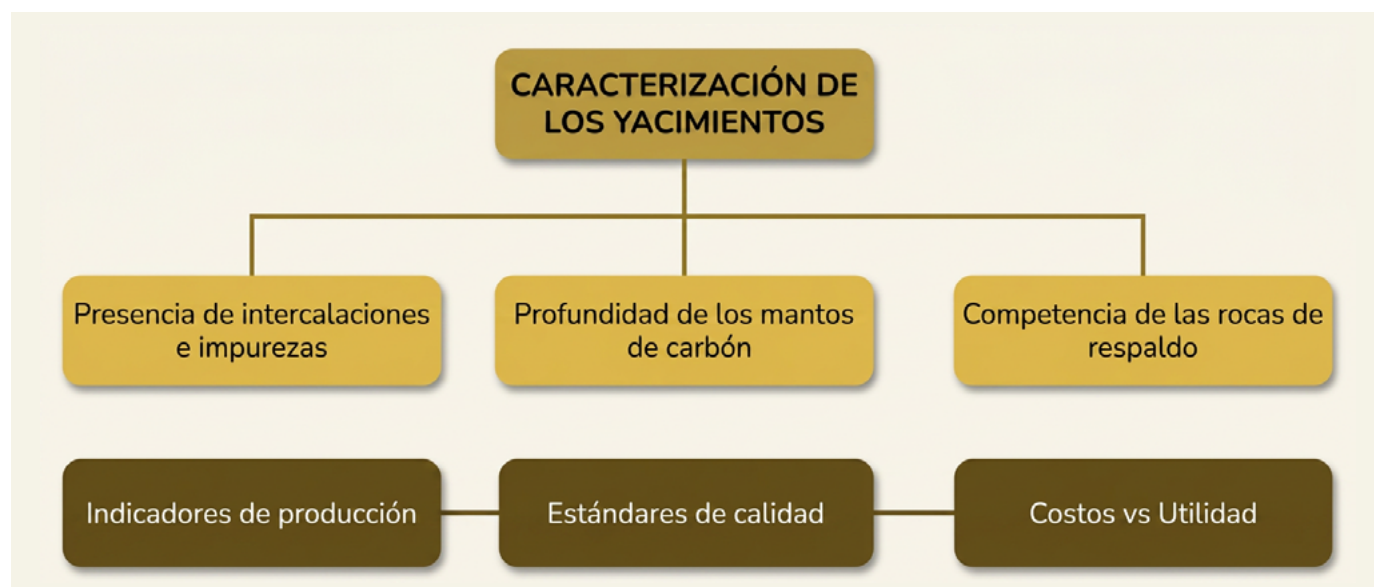
La optimización de la estimación de reservas requiere integrar información geológica, geotécnica y de calidad del carbón para mejorar la confiabilidad de los modelos del yacimiento y apoyar la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

La **Figura 7-2** presenta los principales aspectos técnicos que deben considerarse para optimizar la estimación de las reservas de carbón.



Figura 7-2

Aspectos a considerar en la optimización de las reservas de carbón



7.1.2. Optimización de la producción

La optimización de la producción tiene como propósito incrementar la eficiencia operacional mediante el mejoramiento continuo de los procesos de explotación, el uso adecuado de los recursos disponibles y la implementación de tecnologías que permitan alcanzar las metas de producción con condiciones seguras, eficientes y ambientalmente responsables.

Para ello, es necesario evaluar de manera permanente el desempeño de la operación, identificando oportunidades de mejora en los procesos de extracción, transporte, sostenimiento, ventilación y demás actividades que intervienen en el ciclo productivo.



Selección del método de explotación

La selección del método de explotación constituye uno de los factores que mayor influencia tiene sobre la productividad, los costos operacionales, la recuperación del recurso y la seguridad de la mina. Por esta razón, su elección debe fundamentarse en las características geológicas y geomecánicas del yacimiento, el modelo geológico, las condiciones operacionales y los objetivos de producción definidos durante el planeamiento minero.

Asimismo, las operaciones mineras deben incorporar procesos de innovación y mejoramiento continuo que permitan optimizar la extracción del carbón, incrementar la eficiencia de los procesos y reducir los impactos ambientales asociados a la

explotación. La incorporación de nuevas tecnologías, equipos de mayor desempeño y sistemas de monitoreo favorece la toma de decisiones y fortalece la competitividad de la operación.

La selección del método de explotación requiere evaluar de manera integral criterios técnicos, operacionales, económicos, ambientales y de seguridad, con el fin de garantizar un aprovechamiento eficiente del recurso y la sostenibilidad de la operación minera.

La **Tabla 7-1** presenta algunos de los principales criterios que deben considerarse durante este proceso

Tabla 7-1

Criterios técnicos para la selección del método de explotación

Objetivo	Propósito	Aspectos técnicos por evaluar
Seguridad operacional	Garantizar condiciones de trabajo seguras durante todas las etapas de la explotación.	Factor de seguridad del método, identificación y control de riesgos críticos, estabilidad geomecánica y cumplimiento de los procedimientos de SST.
Eficiencia económica	Optimizar los costos de producción y el uso de los recursos disponibles.	Costos unitarios de explotación, productividad, consumo de materiales, utilización de equipos y rendimiento operacional.
Cumplimiento del plan de producción	Alcanzar las metas de producción establecidas en el planeamiento minero.	Producción programada, avance de labores, cumplimiento del cronograma e indicadores de desempeño.
Aprovechamiento del recurso	Maximizar la recuperación del carbón manteniendo los estándares de calidad requeridos.	Recuperación del recurso, pérdidas de carbón, control de dilución y variabilidad de la calidad del producto.
Innovación y adaptación tecnológica	Incorporar tecnologías que incrementen la productividad y reduzcan los impactos operacionales y ambientales.	Nivel de mecanización o <u>semimecanización</u> , flexibilidad del método de explotación, sistemas de monitoreo y aplicación de tecnologías limpias.

La selección del método de explotación no depende únicamente de las características geológicas del yacimiento, sino también de factores técnicos, operacionales, económicos, ambientales y de seguridad que condicionan el desempeño de la operación minera. La evaluación integral de estos aspectos permite seleccionar el método que mejor se adapte a las condiciones del depósito y a los objetivos establecidos en el plan de minado.

La **Figura 7-3** presenta los principales factores que deben considerarse durante la selección del método de explotación.



Figura 7-3

Factores para la selección del método de explotación



Los factores presentados en la figura evidencian que la selección del método de explotación constituye un proceso de análisis multidisciplinario, en el que convergen variables geológicas, geomecánicas, operacionales, económicas, ambientales y de seguridad. La integración de estos criterios permite minimizar los riesgos técnicos, optimizar la recuperación del recurso y mejorar la eficiencia de la operación minera.



Parámetros de diseño para la selección del método de explotación

Una vez identificados los factores que condicionan la selección del método de explotación, es necesario definir los principales parámetros de diseño que orientan su implementación y permiten evaluar su desempeño durante la operación minera. Estos parámetros facilitan la comparación entre alternativas de explotación y apoyan la toma de decisiones para optimizar la productividad, la recuperación del recurso y la seguridad de la mina.

La **Figura 7-4** resume los principales parámetros de diseño que deben evaluarse durante la selección y optimización del método de explotación.



Figura 7-4
Parámetros de diseño



Los parámetros de diseño integran los principales aspectos técnicos que influyen en el desempeño del método de explotación seleccionado. Su evaluación permite verificar la compatibilidad entre las características del yacimiento, el diseño minero y las condiciones operacionales, favoreciendo una explotación segura, eficiente y sostenible.

Principales parámetros de diseño

Los parámetros que deben analizarse durante la selección del método de explotación comprenden:

1. Parámetros geológicos y geotécnicos

- Espesor y continuidad del manto.
- Inclinación y profundidad del depósito.
- Competencia geomecánica del techo, piso y respaldos.
- Presencia de fallas geológicas, agua subterránea o gases.



2. Parámetros de diseño minero

- Dimensiones de galerías, cámaras y pilares.
- Secuencia de explotación.
- Diseño del sostenimiento.
- Requerimientos de servicios mineros.

3. Parámetros operacionales

- Producción esperada (t/día o t/mes).
- Rendimiento por turno o por equipo.
- Ciclos de avance, cargue y transporte.
- Recuperación del recurso y control de pérdidas.

4. Parámetros de seguridad

- Estabilidad de excavaciones.
- Riesgo de caídas de techo y colapsos.
- Control de metano, polvo y otros agentes peligrosos.
- Condiciones para evacuación y respuesta a emergencias.

La evaluación conjunta de estos parámetros permite comparar los diferentes métodos de explotación y determinar cuál ofrece mejores condiciones de productividad, recuperación del recurso, seguridad y viabilidad técnica para cada operación minera.

La **Tabla 7-2** presenta una comparación de algunos de los principales parámetros técnicos asociados a los métodos de explotación utilizados en minería de carbón.

Para el pequeño minero, los criterios técnicos que se deben tener en cuenta para la selección del método de explotación, son un compromiso entre lo que la montaña ofrece y las herramientas que se tienen; por eso, el método de explotación debe ir siempre “de la mano” con su infraestructura como el malacate, los coches y la ventilación sin olvidar la meta de producción necesaria para pagar jornales y asegurar ganancias, en resumen, se trata de organizar el trabajo de modo que sus equipos no se queden cortos ni se fuercen de más, logrando que el carbón fluya de manera constante y segura para que el esfuerzo de cada turno se convierta en bienestar real y progreso para su familia.

7.1.3. Optimización en la productividad interna

La optimización de la productividad interna comprende el mejoramiento continuo de las actividades que conforman el ciclo productivo de la mina, con el propósito de incrementar la eficiencia operacional, reducir tiempos improductivos, optimizar el uso de los recursos y garantizar condiciones seguras de trabajo.

Entre las actividades con mayor incidencia en la productividad se encuentran el arranque, el cargue, el transporte, el sostenimiento, la ventilación y la coordinación de las labores mineras. La evaluación permanente de estas operaciones permite identificar oportunidades de mejora que contribuyen al cumplimiento de las metas de producción y al aprovechamiento eficiente del recurso.

Tabla 7-2

Comparación de parámetros técnicos de los métodos de explotación de carbón

Método	Producción t/hombre/turno	Dilución (%)	Pérdidas de mineral (%)
Minería cielo abierto	50-250	5	0-5
Cámaras y pilares	10-40	10-15	15-40
Tajo largo	10-40	10-15	5-15
Tajos de subnivel	25-120	10-15	5-15



Cargue de mineral

El cargue corresponde a la operación mediante la cual el carbón o el material estéril extraído en los frentes de explotación es transferido al sistema de transporte para su evacuación hacia superficie. La eficiencia de esta actividad influye directamente sobre la productividad de la operación y los costos de explotación.

En la pequeña minería, la selección del sistema de cargue depende de factores como el volumen de producción, las condiciones del yacimiento, la infraestructura disponible y el nivel de tecnificación de la operación.

Cargue manual

El cargue manual continúa siendo una alternativa ampliamente utilizada en operaciones de pequeña minería debido a su bajo costo de implementación y a la flexibilidad que ofrece en labores con restricciones de espacio.

Para optimizar su desempeño se recomienda:

- Utilizar herramientas manuales con diseño ergonómico y en buen estado;
- Mantener un ritmo de trabajo uniforme que favorezca la productividad;
- Realizar la selección del carbón durante el cargue para controlar la calidad del mineral;
- Establecer procedimientos de trabajo seguros que reduzcan la fatiga y el riesgo de lesiones.

Como herramienta de apoyo para profundizar en este tema, se recomienda consultar la Guía de protocolos de cargue y transporte para minería de carbón, elaborada por el Ministerio de Minas y Energía.

La productividad del cargue manual depende de la organización de la labor, las condiciones del frente de explotación, la dureza del carbón y la experiencia del trabajador. La **Figura 7-5** presenta un esquema general del proceso de arranque y cargue manual.

Figura 7-5

Proceso de arranque y cargue manual



El proceso de cargue manual evidencia la secuencia básica de las actividades desarrolladas en el frente de explotación y permite identificar los factores que influyen en el rendimiento de la operación, facilitando la implementación de acciones orientadas al mejoramiento continuo de la productividad.

Cargue mecánico

El cargue mecánico permite incrementar significativamente la productividad mediante la utilización de equipos especializados para el manejo del mineral. Su implementación debe evaluarse considerando la capacidad de producción de la mina, las condiciones geológicas, la infraestructura disponible y la viabilidad económica de la inversión.

Aunque los sistemas mecanizados aumentan la eficiencia operacional, también requieren mayores inversiones en adquisición, operación y mantenimiento de equipos, además de controles adicionales para garantizar la calidad del carbón durante el proceso de cargue.

Dado que esta guía está orientada a operaciones de pequeña minería, se presentan únicamente algunas alternativas de mecanización que pueden implementarse de manera gradual conforme evolucionen las condiciones de la explotación.



Entre los principales equipos se encuentran:

- Palas cargadoras de descarga frontal o lateral.
- Scraper u otros sistemas de arrastre mecánico.
-

Aspectos técnicos para la selección del sistema de cargue

La selección del sistema de cargue debe considerar, entre otros, los siguientes aspectos:

- Volumen de mineral o estéril a movilizar.
- Granulometría, densidad, dureza y abrasividad del material.

- Dimensiones de las vías de transporte.
- Geometría del yacimiento (rumbo, buzamiento y espesor de los mantos).
- Características geomecánicas del macizo rocoso;
- Método de explotación seleccionado.
- Sistema de transporte empleado en la mina.

La optimización de las actividades de cargue requiere establecer procedimientos operacionales estandarizados que permitan mejorar la productividad, reducir pérdidas y fortalecer las condiciones de seguridad durante la operación. La **Figura 7-6** presenta un conjunto de buenas prácticas aplicables al proceso de cargue de mineral y estéril.

Figura 7-6

Buenas prácticas para las actividades de cargue de mineral y estéril

BUENAS PRÁCTICAS EN LA ACTIVIDAD DE CARGUE		
VOLUMEN DE CARBÓN CARGADO VOLUMEN DE ESTÉRIL CARGADO		Calidad de Carbón Metalúrgico Densidad: 1.4 g/cm³ %Cz: 12% FSI: 7 MV: 28%
	RUTA PRINCIPAL DE TRANSPORTE Ancho: 4 m Altura: 3.5 m Longitud: 1500 m	GEOMETRÍA DEL YACIMIENTO Inclinación: 45° Grosor: 5 m Profundidad: 200 m
MÉTODO DE EXPLOTACIÓN Cámaras y pilares Tajo corto Testereros	CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO RQD: 75% RMR: 55 Cohesión: 1.2 MPa Ángulo de rozamiento: 35°	

7.1.4. Optimización del transporte interno

El transporte interno comprende el conjunto de actividades, equipos e infraestructura destinados al desplazamiento del carbón, el material estéril, los insumos, los equipos y el personal entre los diferentes frentes de trabajo y los puntos de descarga dentro de la mina.



La eficiencia del sistema de transporte influye directamente en el cumplimiento de las metas de producción, la continuidad de la operación y los costos de explotación. Por ello, su planificación debe integrarse desde las etapas de diseño y optimización del plan de minado.

El sistema de transporte interno cumple funciones esenciales para garantizar la continuidad de las operaciones y el abastecimiento de los diferentes frentes de trabajo.

La **Tabla 7-3** presenta algunos equipos de cargue que pueden contribuir a optimizar esta operación, de acuerdo con las características de la explotación, el nivel de producción y el grado de mecanización de la mina

Tabla 7-3

Equipos de cargue para la optimización de la operación minera

Funciones del transporte interno

Entre las principales funciones del transporte interno se encuentran:

- Transportar el carbón desde los frentes de explotación hasta los puntos de descarga.
- Evacuar el material estéril generado durante las labores mineras.
- Abastecer los frentes de trabajo con materiales, sostenimiento e insumos.
- Movilizar maquinaria y equipos requeridos para la operación.
- Transportar material de relleno hacia labores abandonadas o zonas de retrolenado, cuando aplique.
- Facilitar el desplazamiento del personal mediante sistemas diseñados para este fin y de conformidad con la normativa vigente.

La **Figura 7-7** resume las principales funciones que desempeña dentro de una operación minera subterránea.

Máquina o equipo	Características
<u>Pala de descargue Central</u>  Pala EIMCO para minas de carbón	• Sistema de cargue usado en minas de carbón, principalmente en galerías y transversales de transporte. • Se trata de una pala sobre vía en orugas o llantas con una cuchara de capacidad de 100 a 400 kg • La cuchara arrastra sobre la galería y carga a nivel del suelo • Una de las palas más utilizadas en minería de carbón es la pala EIMCO, funciona con aire comprimido y tiene una capacidad de 0.3 m³, con un rendimiento de 16-18 m³/h
<u>Scraper (rascador)</u>  Cargador Scraper	• Retira el mineral o estéril del frente mediante un elemento de carga similar a una cuchara arrastrada por un cable. • La capacidad de la cuchara es variable desde 0,4 a 1m³ • Su forma varía según la densidad y granulometría de • l material a cargar • Puede funcionar con aire comprimido o energía eléctrica • Es mucho más económico que los cargadores, pero es más voluminoso • Se usa en avances de guías en carbón y en métodos de explotación de cámaras y pilares



Figura 7-7

Funciones del transporte interno

FUNCIONES DEL TRANSPORTE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA



MOVER EL MINERAL Y ESTÉRIL

Traslado del mineral extraído y el estéril generado.

MOVER MATERIALES PARA LABORES

Transporte de madera, ventilación y suministros.

MOVER MAQUINARIA Y EQUIPOS

Traslado de máquinas y equipos de operación.

MOVER ESTÉRIL PARA RELLENO

Relleno de áreas abandonadas o explotadas.

Criterios para la optimización del transporte interno

La selección y optimización del sistema de transporte debe considerar las características de la explotación y las metas de producción previstas en el planeamiento minero. Entre los principales criterios técnicos se recomienda evaluar:

- Capacidad de producción prevista.
- Rendimiento del sistema de transporte (velocidad y capacidad de carga).
- Tipo de sistema de arrastre (manual o mecanizado).
- Ancho de trocha y características de los rieles, cuando se utilicen sistemas ferroviarios.
- Programación y ubicación de los frentes de explotación.
- Tipo y características del material transportado.
- Geometría de las labores mineras (galerías, inclinados, niveles y tambores).
- Estado de conservación y limpieza de las vías de transporte.
- Cumplimiento de los requisitos de seguridad establecidos en la normativa vigente para minería subterránea.

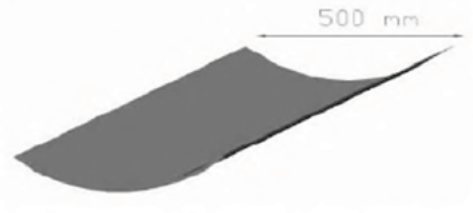
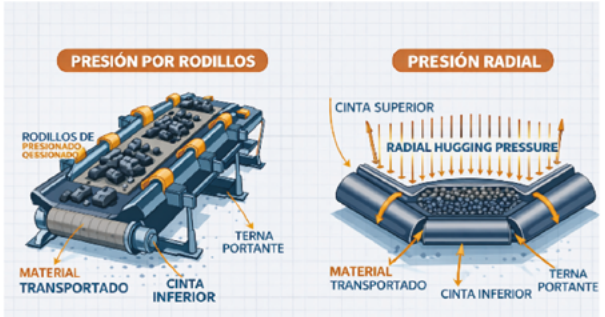
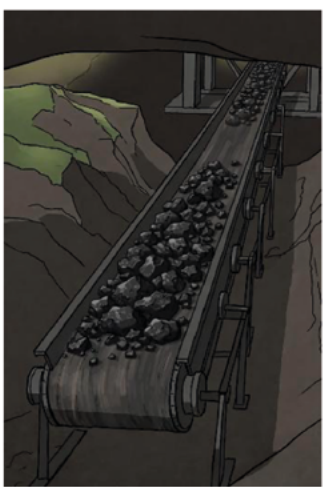


La selección del sistema de transporte debe responder a las condiciones particulares de cada operación minera, buscando maximizar la productividad y garantizar la continuidad del proceso de extracción. La **Tabla 7-4** presenta algunos de los principales sistemas de transporte que pueden implementarse para optimizar la evacuación del carbón y del material estéril.

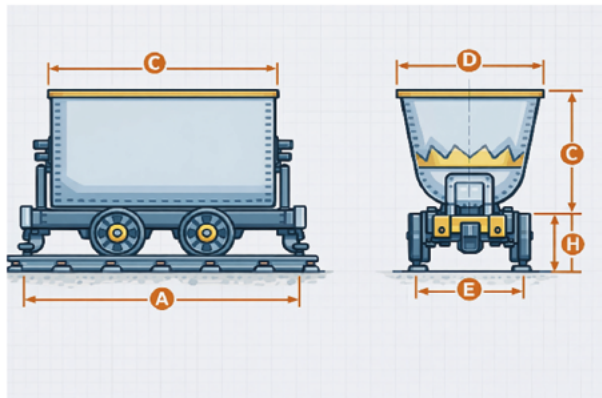
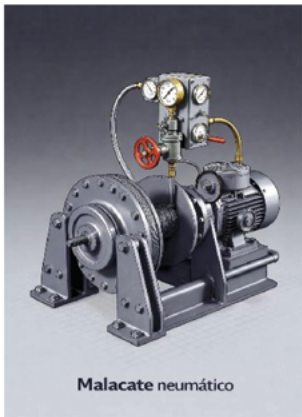


Tabla 7-4

Sistemas de transporte para la optimización de la evacuación de carbón y material estéril

Labor minera	Características
En explotación: Es el que tiene lugar en la zona de explotación, va desde el frente a los puntos de descargue	• Transporte por gravedad, aprovechando el buzamiento de los mantos.
En Galerías: Es el que se hace en guías en carbón, en sobreguías y galerías principales	• Manual: Empujando vagonetas cuyas dimensiones permitan una evacuación segura y con rendimientos adecuados • Mecánico: Puede ser continuo • (mediante cintas transportadoras)
Transporte continuo	
Transporte por chapas:  FIGURA 4.1. CHAPA SEMICIRCULAR	• Sistema formado por chapas metálicas de acero al carbono aluminio galvanizadas, generalmente con longitudes de 2 mts y hasta 1.5 mm de espesor. • Las chapas se colocan de forma consecutiva una sobre la otra con una pestaña • Son elementos relativamente económicos (su variación depende del costo del acero) • Se usa para buzamientos entre 25° y 35°, pero el rango puede ampliarse de 20° a 40°, es una herramienta que se usa para que el carbón de los frentes fluya con mayor rapidez.
Cintas Transportadoras  Figura 4.13. Cintas tipo Sandwich 	• Se usa para recorridos largos de mineral o estéril, especialmente en galerías de transporte. • También se usa en planos inclinados de acceso, constituyéndose un método alternativo de jaulas o skips cuando la diferencia de cota lo permite. • Tienen una vida útil de entre 10 a 30 años dependiendo de las condiciones de trabajo y el tipo de material transportado. • Las cintas se emplean para el transporte de materiales de granulometría pequeña (80% al 90%). • Pueden transportar materiales de alta densidad incluso de 2t/m³ • Se emplean en galerías y planos inclinados con pendientes menores a 18° • Alta velocidad de transporte de hasta 6 m/s.



Transporte discontinuo	
<u>Vagones</u> 	• Es el sistema de transporte más usado en minas de carbón subterránea • El cargue se puede hacer de manera manual, mecánica, por elementos de transporte continuo o por gravedad en mantos inclinados • El tamaño del vagón depende del área de la galería de transporte y el rendimiento de producción. • Debe resistir los esfuerzos, abrasión y la corrosión producida por el material que transporta • La carga del vagón depende de la densidad del material a transportar. • Vagones con mayor capacidad simplifican el transporte y facilitan la organización de los ciclos de transporte, sin embargo, se requiere una vía en buenas condiciones, limpia y con un mayor ancho de trocha.
<u>Transporte por cabrestante (Malacate)</u>  Malacate neumático  Malacate eléctrico	• Neumáticos: tienen las siguientes características ◦ Gran potencia ◦ Facilitan la ventilación de la mina ◦ Necesita un compresor de gran capacidad, ya que hay herramientas (martillos taladros) que llevan a consumo altos de aire comprimido ◦ El compresor debe tener un mantenimiento preventivo cada 250 horas, que pueden ser costosos ◦ Son seguros para trabajos internos especialmente en minas altamente Grisutuosas • Eléctricos tienen las siguientes características: ◦ Los motores eléctricos que componen el malacate pueden ser monofásicos o trifásicos (depende de la capacidad instalada) ◦ Por seguridad cuando la carga está suspendida en labores inclinadas, los motores deben incorporar un freno magnético ◦ Cuando trabajan bajo tierra Los motores deben ser protegidos anti grisú ◦ Las máquinas y equipos deben ser certificados según norma RETIE, y resolución 1348 de 2009. • El cable de arrastre debe estar en buenas condiciones sin desgaste o con añadiduras. Para profundizar en las condiciones de trabajo, remitirse al decreto de seguridad minero 1886 de 2015. Art.194



La optimización de las operaciones de cargue, transporte y extracción requiere una evaluación integral de los procesos operacionales, con el fin de garantizar la continuidad de la producción, el uso eficiente de los recursos y la seguridad de los trabajadores.

Como parte de este proceso, se recomienda analizar previamente los siguientes aspectos:

La optimización de las operaciones de cargue, transporte y extracción requiere una evaluación integral de los procesos operacionales, con el fin de garantizar la continuidad de la producción, el uso eficiente de los recursos y la seguridad de los trabajadores.

- Como parte de este proceso, se recomienda analizar previamente los siguientes aspectos:
- Condiciones de operación de los equipos, verificando su capacidad, disponibilidad, estado de mantenimiento y desempeño operacional.
- Organización del trabajo, considerando la programación de turnos, jornadas laborales, relevos, tiempos de operación y vida útil de los equipos.
- Características del material transportado, tales como volumen, granulometría, densidad, humedad y demás propiedades que puedan influir en el rendimiento del sistema de transporte.
- Especificaciones técnicas de los equipos, incluyendo capacidad de carga, velocidad de operación, rendimiento, consumo energético, costos de operación y mantenimiento.

Sistema de extracción

El sistema de extracción corresponde al conjunto de equipos e infraestructura destinados al transporte del carbón y del material estéril desde el interior de la mina hasta la superficie. Asimismo, permite el ingreso y la salida del personal, los equipos, los materiales y los insumos requeridos para el desarrollo de las labores mineras.

Su diseño debe considerar aspectos técnicos como la ubicación de los accesos, la sección de las labores, el método de excavación, el sostenimiento, la capacidad del sistema y las proyecciones de crecimiento de la operación, de manera que pueda responder tanto a las necesidades actuales como a futuros incrementos en la producción.

Como buena práctica de planeamiento minero, se recomienda que la operación disponga de, al menos, dos accesos independientes que garanticen la continuidad de la operación y las condiciones de seguridad:

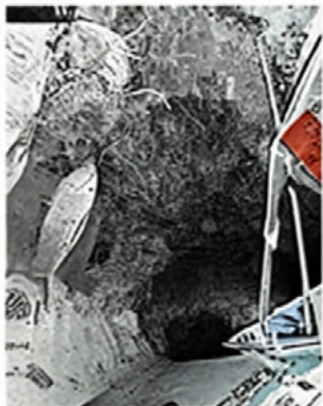
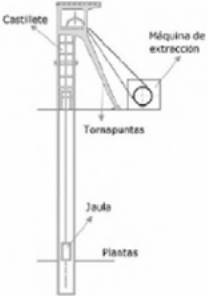
- Un acceso destinado al transporte de personal, materiales y producción;
- Un acceso destinado a la ventilación y que funcione, además, como ruta de evacuación en caso de emergencia.

El diseño del sistema de extracción debe responder a las características del yacimiento, el método de explotación seleccionado y los niveles de producción proyectados, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, eficiencia y continuidad operacional. La **Tabla 7-5** presenta las principales características técnicas de las labores mineras utilizadas para la extracción del carbón metalúrgico.



Tabla 7-5

Características de las labores mineras para la optimización del sistema de extracción de carbón metalúrgico

Método	Características
Plano inclinado 	■ Es el método de extracción más adecuado para yacimientos poco profundos: ■ Tiene mayor flexibilidad y posibilidad de profundizar a medida que se pasan los estratos y capas de carbón situadas en menores cotas ■ Posibilidad de utilizar diferentes sistemas de extracción ■ Mayor rapidez de ejecución ■ Debe diseñarse según los requerimientos de secciones acordes a los métodos de extracción. Se usan métodos de extracción continuas en especial cintas transportadoras: ■ Convencionales (16° a 18° de inclinación) ■ Gran ángulo de artesa (28° a 30° de inclinación) No convencionales para mayor grado de inclinación.
Pozos verticales  FIGURA 7.1. CASTILLETE MINERO	■ Es un sistema usado en minería subterránea profunda. ■ La extracción se hace por de jaulas o Skips ■ Estructura de larga duración 
Túneles y cruzadas 	Son labores de Desarrollo minero que generalmente se construye en roca, o en mineral, y se utiliza principalmente para: ■ Acceder a los mantos de carbón ■ Vía principal de ventilación y transporte de mineral o de insumos de minería (elementos de ventilación, sostenimiento, explosivos entre otras.

Además de las actividades descritas anteriormente, la optimización de la productividad requiere la implementación de estrategias orientadas al mejoramiento continuo de los procesos operacionales, el uso eficiente de los recursos y el fortalecimiento de la seguridad minera. La Figura 7-8 presenta algunos aspectos adicionales que contribuyen al incremento de la productividad en las operaciones de pequeña minería.



Figura 7-8
Optimización en productividad



La figura integra diferentes componentes operacionales que influyen directamente en la productividad de la mina, evidenciando que el mejoramiento continuo depende de la interacción entre la planificación, los equipos, la organización del trabajo, la capacitación del personal y el control permanente de los procesos.

7.1.5. Optimización en ventilación

La optimización de la ventilación tiene como propósito garantizar el suministro continuo de aire fresco, controlar la presencia de gases y material particulado, regular las condiciones térmicas de la mina y proporcionar un ambiente de trabajo seguro durante todas las etapas de la explotación.

La planificación del sistema de ventilación debe asegurar el cumplimiento de la normativa vigente en materia de seguridad minera, mediante el diseño de circuitos de ventilación eficientes, la adecuada distribución de los caudales de aire y el monitoreo permanente de las condiciones atmosféricas en la mina.

Importancia de la optimización de la ventilación

La optimización del sistema de ventilación permite:

- Garantizar concentraciones adecuadas de oxígeno para el desarrollo de las labores mineras.
- Diluir y evacuar gases tóxicos, explosivos o contaminantes por debajo de los límites permisibles establecidos en la normativa vigente.
- Controlar la temperatura y mejorar el confort térmico en el interior de la mina.



- Reducir la exposición de los trabajadores al polvo y otros contaminantes presentes en el ambiente de trabajo.
- Incrementar la seguridad operacional y favorecer la continuidad de la producción.

Aspectos técnicos para la optimización

Para optimizar el desempeño del sistema de ventilación se recomienda considerar los siguientes aspectos:

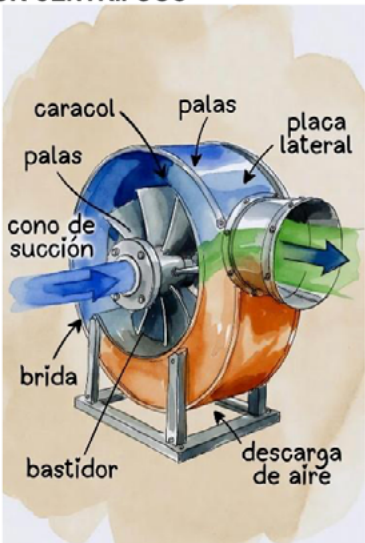
- Disponer de un circuito de ventilación correctamente diseñado, con una entrada de aire fresco y una salida independiente para el aire viciado.
- Seleccionar ventiladores principales y auxiliares con la capacidad requerida para las condiciones de la explotación y certificados para su uso en minería subterránea, cuando corresponda.

- Implementar un programa permanente de monitoreo de gases mediante equipos multidetectores que permitan medir, entre otros, oxígeno (O_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Realizar aforos periódicos de ventilación para verificar el cumplimiento de los caudales de aire establecidos en el plan de ventilación.
- Mantener registros actualizados de las mediciones y realizar el seguimiento de los indicadores del sistema.

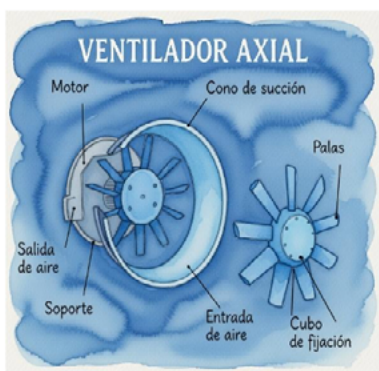
La optimización de la ventilación requiere seleccionar equipos que respondan a las necesidades de caudal, presión y condiciones de operación de la mina, garantizando un suministro adecuado de aire durante todas las etapas de la explotación. La **Tabla 7-6** presenta algunos de los tipos de ventiladores utilizados con mayor frecuencia en operaciones de minería subterránea.

Tabla 7-6

Equipos de ventilación para la optimización del sistema de ventilación en minería subterránea.

Ventiladores de alta eficiencia y altas tecnologías limpias	
VENTILADOR CENTRÍFUGO  componentes de los ventiladores axial y centrífugo. (fuente: la casa del ventilador, 2023).	El aire ingresa por la abertura de aspiración y es impulsado mediante un rotor con álabes curvos, generando un flujo de aire a mayor presión. Se utiliza cuando es necesario vencer mayores pérdidas de carga en el circuito de ventilación. Su eficiencia puede oscilar entre el 60 % y el 80 %, dependiendo de las condiciones de operación y del diseño del equipo.



VENTILADORES AXIALES

componentes de los ventiladores axial y centrífugo. (fuente: la casa del ventilador, 2023)

Impulsa el aire en la misma dirección del eje del ventilador, proporcionando altos caudales con menores incrementos de presión. Se emplea para la inyección de aire fresco y la evacuación del aire viciado, tanto en sistemas de ventilación principal como auxiliar. Está diseñado para operar de forma continua en condiciones propias de la minería subterránea.

VENTILADORES MIXTOS

Combina las características de los ventiladores axiales y centrífugos, permitiendo obtener un equilibrio entre caudal y presión. Se recomienda en operaciones donde las condiciones de ventilación requieren mayor flexibilidad y eficiencia energética.

7.1.6. Optimización de la calidad del carbón producido

La optimización de la calidad del carbón producido comprende el conjunto de actividades orientadas a mantener las especificaciones técnicas requeridas por el mercado, mediante la aplicación de procedimientos de control durante las etapas de extracción, selección, manejo y transporte del mineral.

La calidad del carbón constituye un factor determinante para la competitividad de la operación minera, ya que influye directamente en el cumplimiento de los requisitos comerciales, la satisfacción del cliente y la rentabilidad del proyecto.

Para alcanzar estos objetivos, es necesario implementar procedimientos de control que permitan minimizar la contaminación con material estéril,

reducir la variabilidad de la calidad y garantizar el cumplimiento de las especificaciones acordadas con los compradores.

Objetivos

La optimización de la calidad del carbón busca:

- Mantener las especificaciones comerciales del producto.
- Reducir la contaminación con material estéril;
- Optimizar la recuperación del carbón aprovechable.
- Disminuir pérdidas durante las operaciones de cargue y transporte.
- Fortalecer la competitividad de la operación minera.



La optimización de la calidad del carbón requiere implementar controles técnicos durante todas las etapas del proceso productivo. La **Tabla 7-7** presenta algunos criterios que pueden contribuir al mejoramiento continuo de la calidad del carbón metalúrgico.



Tabla 7-7

Optimización en calidad del carbón metalúrgico

Eje	Aplicación en carbón metalúrgico subterráneo	Impacto en la calidad
Procedimientos y estándares	Control estricto de dilución, separación carbón-estéril en frente, control de recuperación	Mantiene bajo el contenido de cenizas y asegura especificación del producto
Tecnología	Monitoreo de frentes, control de leyes/calidad, equipos de arranque selectivo	Reduce mezcla con estéril y variabilidad del carbón
Capacitación del personal	Entrenamiento en selección de carbón, control de dilución y prácticas operativas	Disminuye errores operativos que afectan cenizas y poder coquizable
Sistemas de gestión integrados	Control de procesos, seguridad y ambiente en explotación y transporte interno	Estabiliza el proceso y asegura repetibilidad de la calidad
Estudios geomecánicos y geotécnicos	Ajuste de sostenimiento, método de arranque y secuencia de minado según el macizo rocoso	Reduce sobre-roturas, caída de estéril y contaminación del carbón
Cumplimiento normativo	Aplicación de normativa minera, seguridad y ambiente en labores subterráneas	Evita paradas, sanciones y pérdidas de control del proceso productivo

Factores externos que influyen en la competitividad de la operación minera

Además de los factores técnicos propios de la explotación, el desempeño de una operación minera también depende de variables externas que pueden afectar su sostenibilidad y competitividad.

Entre las principales se encuentran:

Condiciones del mercado

La rentabilidad del proyecto está influenciada por las variaciones del precio del carbón metalúrgico, por lo que resulta fundamental mantener costos de producción competitivos y optimizar la eficiencia operacional para reducir la vulnerabilidad frente a los cambios del mercado.

Marco normativo

El cumplimiento de las obligaciones legales, ambientales, laborales y económicas constituye un

requisito indispensable para garantizar la continuidad de la operación minera y fortalecer la seguridad jurídica del proyecto.

Infraestructura

La disponibilidad y el estado de la infraestructura vial, energética y logística influyen directamente en los costos de producción y transporte, así como en la capacidad de comercialización del carbón.

Relacionamiento con el entorno

La gestión adecuada de los aspectos sociales y ambientales fortalece el relacionamiento con las comunidades y las autoridades, contribuyendo a la sostenibilidad de la operación y a la reducción de conflictos.

se presenta una lista de verificación de las buenas prácticas que se pueden implementar para actividades de optimización de producción de carbón metalúrgico.



Como herramienta de apoyo para verificar la implementación de las acciones de optimización de la producción de carbón metalúrgico, se recomienda consultar el **Anexo 5.1. Lista de verificación de buenas prácticas para la optimización de la producción de carbón metalúrgico**.

7.2. Monitoreo técnico y operacional

El monitoreo técnico y operacional corresponde al proceso sistemático de seguimiento y evaluación de las actividades críticas que intervienen en la explotación minera, con el propósito de verificar el cumplimiento de los objetivos establecidos en el planeamiento minero e identificar oportunidades de mejora.

Este proceso permite comparar los resultados obtenidos con las metas programadas mediante el análisis de indicadores de desempeño relacionados con la producción, la seguridad, la ventilación, la calidad del carbón, los costos operacionales y el cumplimiento de los requisitos ambientales.

Para garantizar la confiabilidad de la información, es necesario implementar procedimientos estandarizados para la captura, procesamiento y análisis de datos, que faciliten la toma de decisiones y el mejoramiento continuo de la operación.

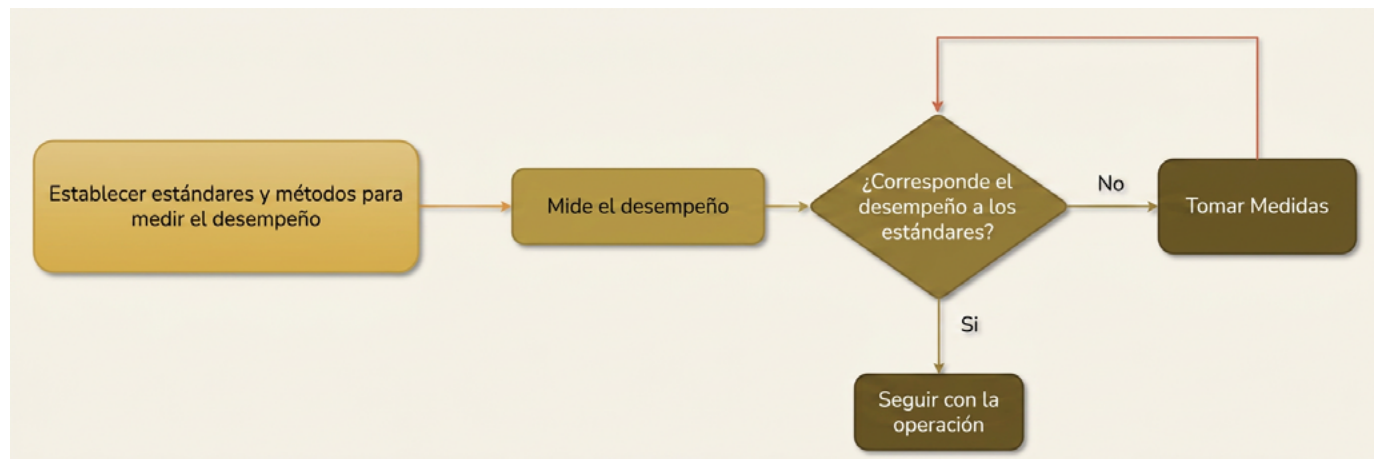
El monitoreo permanente de los procesos operacionales constituye una herramienta fundamental para evaluar el desempeño de la mina e implementar acciones correctivas y preventivas cuando sea necesario. La **Figura 7-9** presenta un esquema general del proceso de monitoreo técnico y operacional.

El ciclo de monitoreo y control operacional comprende cuatro etapas fundamentales:

- Definición de estándares, mediante el establecimiento de metas e indicadores relacionados con la producción, la calidad, los costos y la seguridad.
- Medición del desempeño, a partir de la recopilación y análisis de información operacional.
- Evaluación de resultados, comparando los valores obtenidos con los estándares previamente establecidos.
- Implementación de acciones de mejora, cuando se identifiquen desviaciones, reiniciando el ciclo de seguimiento para fortalecer el proceso de mejora continua.
- Este enfoque permite mantener la operación dentro de los parámetros técnicos establecidos, optimizar la productividad y reducir los riesgos asociados a la explotación minera.

Figura 7-9

Pasos básicos en el proceso de monitoreo y control



Proceso para la medición y el control operacional

Una vez definido el ciclo de monitoreo, es necesario establecer un procedimiento que oriente la captura, el procesamiento y el análisis de la información generada durante la operación minera. Este procedimiento facilita la identificación de desviaciones, la implementación de acciones correctivas y el seguimiento de su efectividad.

La **Figura 7-10** presenta un diagrama de flujo con las principales etapas que conforman el proceso de medición y control operacional en minería subterránea.

Figura 7-10

Diagrama de flujo para la medición y el control operacional

El diagrama de flujo describe la secuencia de actividades necesarias para implementar un sistema de control operacional, desde la recopilación de datos hasta la evaluación de resultados y la ejecución de acciones correctivas o preventivas. Su aplicación favorece la estandarización de los procesos de seguimiento y fortalece la toma de decisiones basada en indicadores de desempeño.

El monitoreo técnico y operacional requiere evaluar de manera integrada variables relacionadas con las condiciones geológicas, los procesos de explotación, la seguridad minera y el desempeño operacional. La **Tabla 7-8** presenta algunos de los principales aspectos técnicos que deben considerarse durante el control operacional en minería subterránea de carbón.

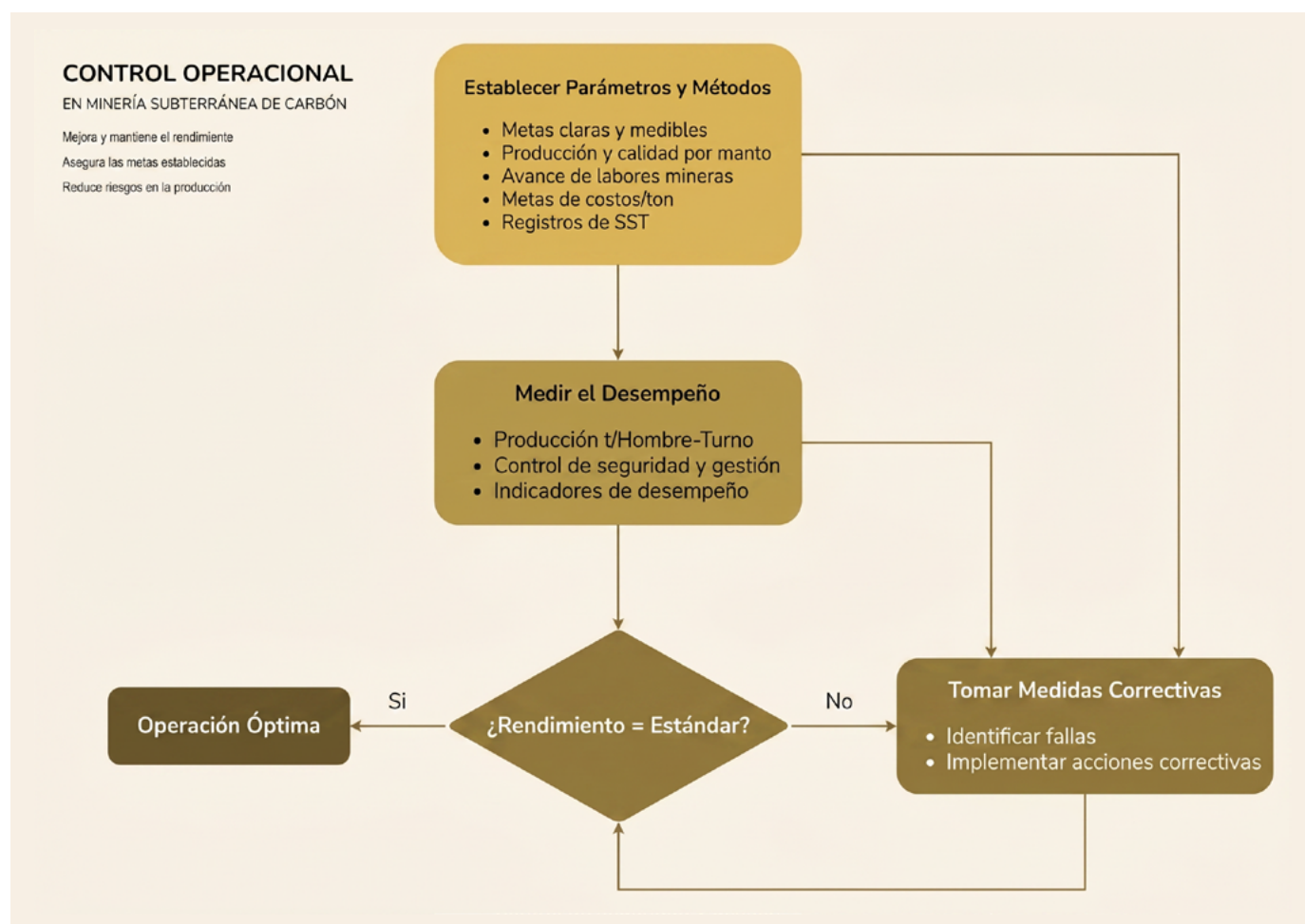


Tabla 7-8

Control Operacional en Minería Subterránea de Carbón

Area	Control principal	Registro / Evidencia
Geotecnia	Evaluación geotécnica en superficie y bajo tierra	Estudios geomecánicos/geotécnicos (diseños)
Planeamiento minero	Plan de producción y control de frentes y rendimientos	Levantamientos topográficos, cubicaciones, tabla de producción
Planeamiento minero	Plan de sostenimiento y ventilación	Registros de consumos de madera o acero. Indicadores de incidentalidad o accidentalidad por derrumbes
Supervisión	Planificación de turnos y control de personal	Cronograma operativo, cuadro de producción por frentes y mantos
	Control de insumos y materiales	Indicadores: consumo de explosivos y madera por ton producida
	Control de producción	Registros de producción turnos ver anexo 5.2
Mantenimiento	Mantenimiento preventivo de equipos	Cronogramas y registros de horas efectivas
	Disponibilidad y rendimiento de equipos	Registros de operación y cronogramas
	Calibración de equipos	Plan de calibración
	Indicadores mecánicos	Disponibilidad mecánica, utilización, MTTR, tiempo entre fallas
Gestión de calidad	Muestreo y análisis de laboratorio	Informes de calidad por frente y manto
	Capacitación en actividades críticas	Cronograma de capacitación
	Indicadores de calidad	% cenizas, ton real /ton proyectada
Gestión SST	Implementación del SGSST	Registros de evaluación del sistema
	Gestión de riesgos (gases, explosiones, derrumbes)	Planes de gestión del riesgo
	Certificación de equipos antiexplosión	Hojas de vida, registros de calibración y certificación
	Inspecciones y auditorías	Hallazgos y planes de acción

7.3. Sistemas de control y toma de decisiones

Los sistemas de control y toma de decisiones constituyen el conjunto de procedimientos, herramientas e indicadores que permiten recopilar, analizar e interpretar la información generada durante la operación minera para apoyar la planificación, el seguimiento y la mejora continua del plan de minado.

Su implementación facilita la identificación oportuna de desviaciones, la optimización de los recursos disponibles y el fortalecimiento de la toma de decisiones técnicas, operacionales y administrativas, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos de producción, seguridad, sostenibilidad y formalización minera.

7.3.1. Componentes esenciales de un sistema de control en pequeña minería de para carbón metalúrgico

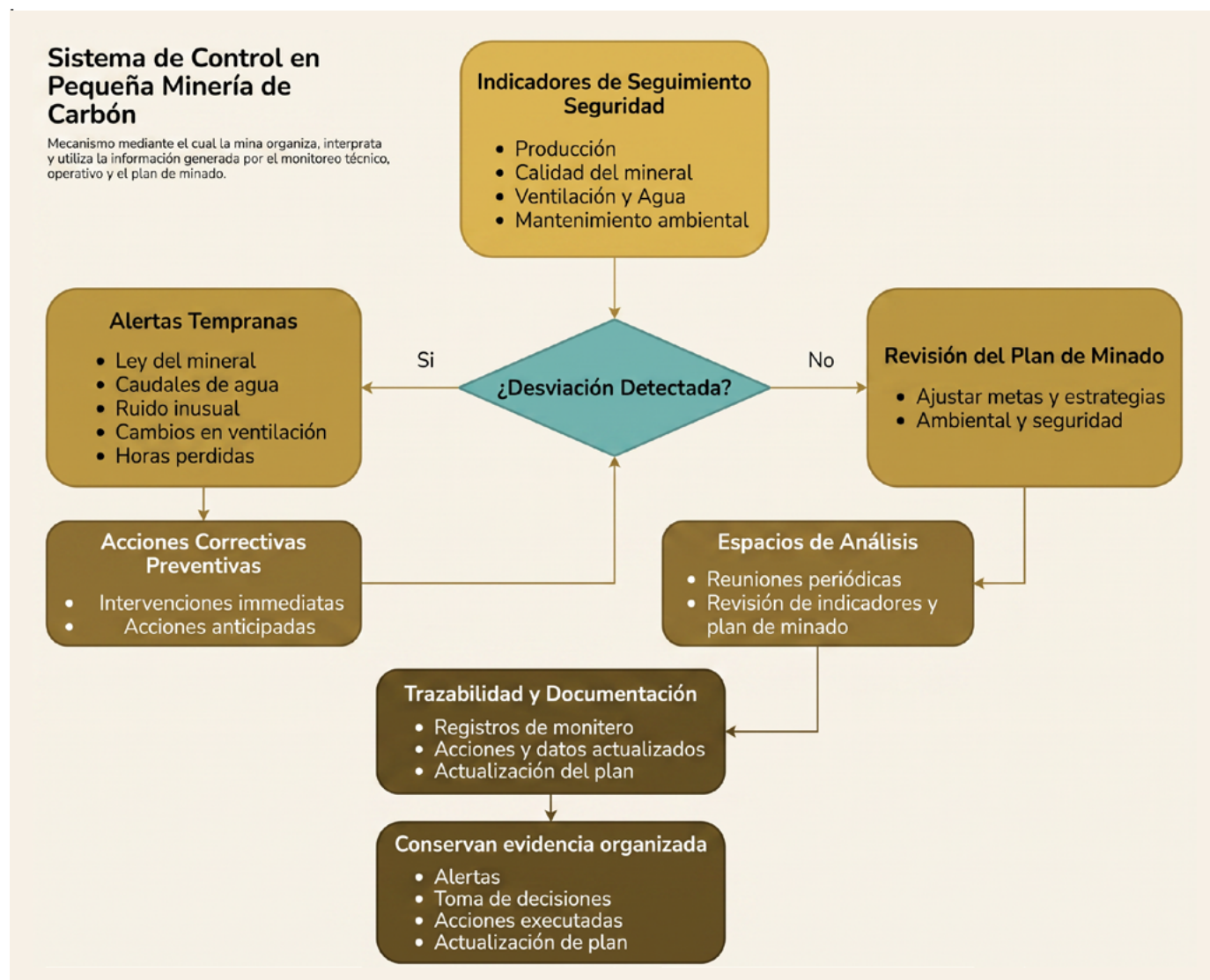
Un sistema de control aplicado a operaciones de pequeña minería debe integrar mecanismos para la recopilación de información, el análisis de indicadores, la evaluación del desempeño y la implementación de acciones de mejora.

La **Figura 7-11** presenta los principales componentes que conforman un sistema de control aplicable a operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico.



Figura 7-11

Sistemas de control aplicable minería pequeña de carbón metalúrgico



Los componentes del sistema de control permiten integrar la información técnica, operacional, ambiental y de seguridad para apoyar el seguimiento permanente del desempeño de la mina y fortalecer la toma de decisiones durante la ejecución del plan de minado.

dimiento que facilite el análisis de los resultados, la identificación de desviaciones y la implementación de medidas correctivas y preventivas.

La **Figura 7-12** presenta la secuencia general mediante la cual la información generada por el sistema de control se transforma en decisiones técnicas y operacionales.

7.3.2 Proceso de toma de decisiones

La información obtenida mediante el monitoreo y los sistemas de control debe transformarse en acciones que permitan mejorar continuamente la operación minera. Para ello, es necesario establecer un proce-



Figura 7-12

Diagrama de flujo para la toma de decisiones



El proceso de toma de decisiones integra la recopilación de información, el análisis de indicadores, la evaluación de resultados y la implementación de acciones de mejora, estableciendo un ciclo permanente de retroalimentación que fortalece la eficiencia y sostenibilidad de la operación.

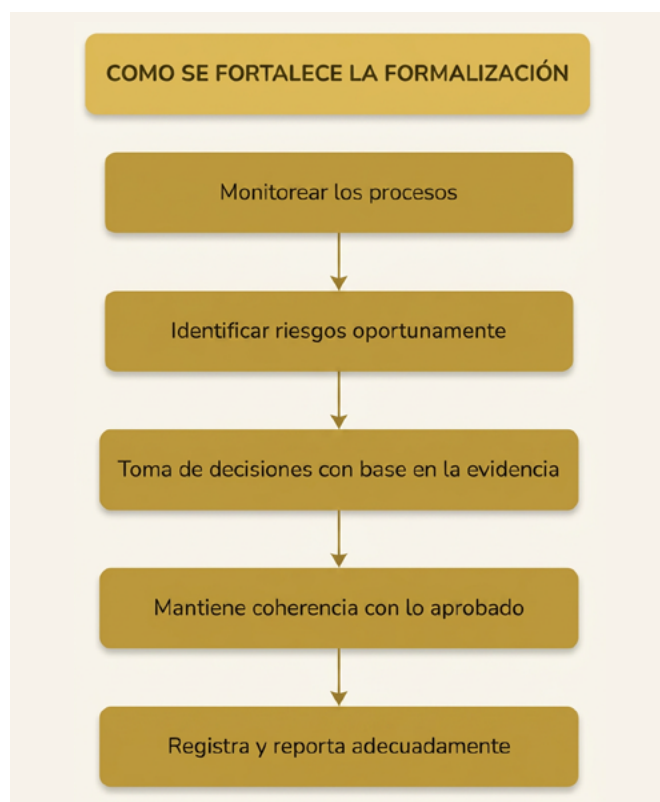
7.3.3. Integración del sistema de control en la formalización minera

La implementación de un sistema de control fortalece los procesos de formalización minera al facilitar el cumplimiento de los requisitos técnicos, ambientales, laborales y administrativos exigidos por la normativa vigente. Asimismo, mejora la trazabilidad de la información, la gestión documental y la capacidad de demostrar el cumplimiento de las obligaciones derivadas del título minero.

La **Figura 7-13** ilustra la relación entre los sistemas de control y los procesos de formalización minera.

Figura 7-13

Sistemas de control para la formalización



La figura evidencia que la aplicación sistemática de controles favorece la organización de la operación minera, mejora la gestión de la información y fortalece el cumplimiento de los requisitos asociados a la formalización.

7.3.4. Enfoque de control minero y gerencial

Además de los controles operacionales, la gestión minera requiere mecanismos de control gerencial que permitan evaluar el cumplimiento de los objetivos estratégicos, optimizar la asignación de recursos y apoyar la toma de decisiones en los diferentes niveles de la organización.

El control gerencial integra la información proveniente de las áreas técnicas y administrativas para evaluar la eficiencia y eficacia de la operación, identificar oportunidades de mejora y orientar la planificación de las actividades futuras.

Control del plan minero

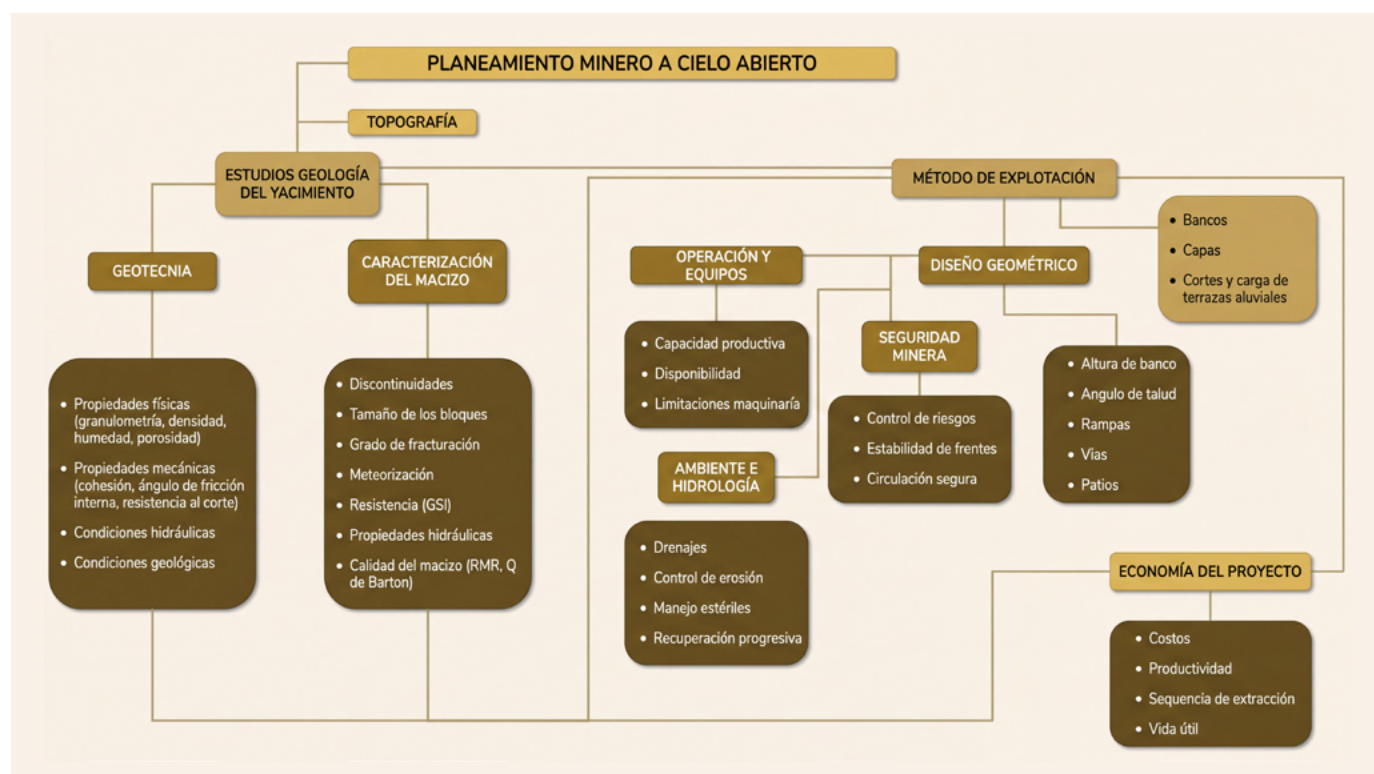
El control del plan minero consiste en el seguimiento sistemático de las actividades programadas, con el propósito de verificar el cumplimiento de los objetivos de producción, seguridad, calidad y sostenibilidad establecidos durante el planeamiento minero.

Entre sus principales propósitos se encuentran:

- Identificar desviaciones respecto a las metas programadas.
- Implementar acciones correctivas y preventivas.
- Optimizar los costos operacionales.
- Mejorar el cumplimiento de los niveles de producción.
- Priorizar las labores de desarrollo y preparación;
- Fortalecer la coordinación entre las áreas técnicas y operacionales.

Los sistemas de control pueden clasificarse según el momento en que se aplican dentro del proceso de gestión. La **Figura 7-14** presenta los principales tipos de control utilizados en operaciones mineras y su contribución a la toma de decisiones.

Tipos de control aplicados a la gestión de operaciones mineras



Los diferentes tipos de control permiten prevenir desviaciones, realizar seguimiento al desempeño operacional y evaluar los resultados obtenidos, favoreciendo la implementación de acciones de mejora continua y el fortalecimiento de la gestión minera.

Principales tipos de control

Los sistemas de control pueden clasificarse de la siguiente manera (Tabla 7 -9).



Tabla 7-9
Tipos de control aplicables al planeamiento minero y su finalidad.

Tipo de control	Finalidad
Control operacional	Monitorear la producción, la seguridad, el ambiente y los indicadores operacionales.
Control gerencial	Evaluar el cumplimiento de los objetivos estratégicos y apoyar la toma de decisiones.
Controles preventivos (antes de la acción)	Verificar la disponibilidad de recursos y el cumplimiento de los requisitos antes de ejecutar las actividades.
Controles de seguimiento	Detectar desviaciones durante la ejecución del plan de minado e implementar acciones correctivas.
Control de revisión o ajuste	Evaluar la pertinencia de los procedimientos y realizar los ajustes requeridos ante cambios en las condiciones de la operación.
Controles posteriores	Analizar los resultados obtenidos e identificar oportunidades de mejora para futuros ciclos de planificación.

Como herramienta de apoyo para verificar la implementación de las buenas prácticas relacionadas con el seguimiento y control del planeamiento minero, se recomienda consultar el Anexo 5.1. Lista de verificación de buenas prácticas para el planeamiento a mediano plazo.

7.4. Términos de referencia para el documento técnico de los Planes de trabajos y obras diferenciales PTOD

De conformidad con la normatividad vigente aplicable a los contratos de concesión con requisitos diferenciales para la formalización minera, en particular lo establecido en la Ley 2250 de 2022 y en la reglamentación expedida para su implementa-

ción, los Planes de Trabajos y Obras Diferenciales (PTOD) constituyen el instrumento técnico mediante el cual se planifican las actividades de explotación y se demuestra la viabilidad técnica de la operación minera.

Los términos de referencia del PTOD orientan la elaboración del documento técnico y establecen la información mínima que debe presentarse ante la autoridad minera para los procesos de legalización, formalización, seguimiento y control de las actividades mineras.

La Tabla 7-10 presenta un resumen de los principales requerimientos técnicos que deben considerarse para la elaboración del PTOD.



Tabla 7-10

Términos de referencia PTOD

Tipo de contrato de concesión	Para la etapa de exploración	Registro o evidencia documental
Términos de referencia para PTOD para Contrato de concesión con requisitos diferenciales y beneficiarios de devolución de áreas	Presentar un programa mínimo exploratorio (Remitirse al capítulo de geología de la presente guía)	Resolución 143 del 29 de marzo de 2017
	Para etapa de exploración con explotación anticipada	Registro o evidencia documental
	Se debe tener en cuenta: Delimitación del área(s) destinadas a exploración y explotación anticipada	Mapa topográfico que comprenda el área(s) a formalizar
	Actividades de explotación anticipada: - Evaluación de capacidad económica del solicitante - Línea base de la explotación en el área a otorgar. Presentar una descripción de las actividades mineras principales:	Información financiera (Estado de situación financiera PYG) Mapa topográfico de detalles que contenga: - Infraestructura (vías, construcciones, energía eléctrica etc.). - Accidentes geográficos (Ríos Quebradas, lagunas, cerros etc.) - Labores mineras existentes ubicación (coordenadas y cotas) túneles, inclinados, galerías, escombreras métodos de explotación, avances, producción y personal Mapa de labores minera a escala y curvas detalladas que contenga: - Polígono del área solicitada - Labores mineras actuales (inclinados, cruzadas, tambores, galerías, niveles etc.) - Infraestructura minera (tolvas, almacenes, acopios, etc)
	Geología básica: Presentar un informe geológico local	- Documento que describa las características geológicas del yacimiento de carbón - descripción litológica, estructura, estratigráfica, mantos de carbón metalúrgico - Mapa geológico local a escala y curvas detalladas, perfiles geológicos longitudinales y transversales detallados, columnas estratigráficas detalladas - Cronograma de actividades del proyecto minero.
	Planeación minera: - Descripción de la proyección de las actividades principales de la operación minera (3 años que dura la etapa de exploración con explotación anticipada) - Los mapas y planos relacionados en el registro o evidencia documental deben mantenerse actualizados y en físico en el campamento, u oficina del proyecto minero	Documento técnico que contenga: - Diseño minero de la explotación junto con planos a escala que describen la proyección de labores de desarrollo, preparación y explotación. - Para minería subterránea de carbón metalúrgico describir: Arranque de mineral: método utilizado (manual o semi-mecanizado o mecanizado). - Si se hace perforación y voladura: ✓ Permisos y autorizaciones para la tenencia de los explosivos y el uso de este (estéril o mineral) ✓ Diseños y Cálculos de perforación y voladura (malla de perforación longitudes de barrenos y su distribución de carga factor de carga, retacado) ✓ Consumos anuales de explosivos y agentes de voladura Cargue y transporte: Descripción técnica del sistema de cargue seleccionado para evacuar el carbón o el estéril producido



		• Sostenimiento: En base a la caracterización del macizo rocoso presentar diseño y cálculos de los elementos de entibación o fortificación para cada labor minera: ○ Presentar gráficas a escala de los tipos de sostenimiento usado con sus dimensiones correspondientes • Ventilación: Descripción diseño y cálculo del circuito principal de ventilación del proyecto, incluyendo equipos con capacidades que aseguren el cumplimiento de las normas de seguridad ○ Presentar planos isómeros de ventilación • Electrificación: Descripción técnica de las instalaciones o redes eléctricas a utilizar en el proyecto. • Desagüe: presentar descripción, diseño y cálculo del sistema de bombeo para sacar el agua subterránea acumulada ○ Plano de desagüe que muestren cómo se hace el manejo de agua subterránea • Botaderos de estéril: si se necesitan áreas para depositar estériles se debe realizar una descripción, diseño, capacidad, cálculo de volumen de estéril a depositar y vida útil del botadero • Acopio de suelos: De requerir área(s) para disponer suelo orgánico realizar descripción, localización, diseño y cálculo de volúmenes de suelo a depositar
	• Maquinaria y equipo	Documento técnico donde se presente la descripción técnica de la maquinaria y equipo requeridos para el desarrollo del proyecto
	• Personal requerido	Documento técnico donde se presenten los requerimientos anuales de personal para todas las labores, discriminado por cargo u ocupación.
	• Cronograma general de actividades. Se debe elaborar para los 3 años que dura el proyecto en esta fase.	Elaborar cronograma del proyecto describiendo cada una de las actividades mineras en las etapas de desarrollo, preparación y explotación (el cronograma debe ser coherente con la secuencia de avance presentado en el plano de diseño minero).
	• Beneficio y transformación de carbón metalúrgico.	Documento técnico donde se georeferencie la ubicación de la planta de beneficio, describiendo cada una de las operaciones unitarias (trituration, clasificación, control de calidad etc.).
	• Producción. Estimativos de producción anual por manto de carbón	Documento técnico donde se presente el estimativo de producción anual por mantos de carbón a explotar (La producción reportada debe ser coherente con los avances de las labores minera y los volúmenes extraídos)
	• Información económica. De los 3 años del proyecto.	Documento técnico donde se presenten la proyección de ingresos anuales de los 3 primeros años del proyecto, incluir: ■ Proyección de costos para los 3 primeros años de ejecución del proyecto discriminando los siguientes rubros: ○ Costos de exploración adicional ○ Inversión en maquinaria y equipo ○ Costos de mano de obra directa ○ Costos de SST (incluir lo necesario para el cumplimiento del reglamento de seguridad e higiene) ○ Costos de mano de obra indirecta ○ Costos ambientales (incluir plan de cierre y abandono si aplica).



	• Plan de cierre y abandono. Las actividades de cierre ya abandonaron deben estar enfocadas a la recuperación de la estabilidad física, química, la recuperación del territorio de acuerdo con el POT, PBOT y EOT y la protección del medio ambiente durante los 3 años del proyecto	Presentar un informe que contemple las actividades específicas de cierre y abandono: ■ Desmantelamiento ■ Recuperación restauración y rehabilitación Presentar planos y mapas donde se identifique el área que va a ser intervenida producto de la explotación. Planos que muestren el cierre final.
Términos de referencia para el Programa de Trabajos y Obras diferencial PTOD de Contrato de concesión, Contratos de concesión especial CCE o requisitos diferenciales	Métodos de explotación: definir el método de explotación a implementar teniendo en cuenta las características del yacimiento de carbón metalúrgico	Presentar documento técnico que contenga: ■ Descripción del método(s) de explotación aplicable para minería de carbón subterráneo, por ejemplo: ○ cámaras y pilares, ○ tajo (corto - largo), ○ tambores paralelos. ○ Escalones invertidos o testers ○ Ensanche de tambores por el buzamiento ■ Diseño minero: justificación técnica del dimensionamiento geométrico de la explotación ■ Descripción y diseño de labores según el método de explotación seleccionado: ○ Labores de desarrollo, preparación y explotación ■ Presentar plano de proyección de labores a escala 1:1000 o más detallada ■ Plano de secuencia anual de labores de desarrollo, preparación y explotación
	Actividades principales de la actividad minera: presentar descripción y diseño de los siguientes servicios mineros	• Arranque y cargue: definir los métodos de arranque y cargue en base al modelo y los planes de producción a largo plazo. ○ Manual: Pico y pala ○ Semi-mecanizado: Martillo neumático, ○ Perforación y voladura. • Transporte: Diseños de métodos de transporte ○ Vagoneta con empuje manual ○ Sistema continuo (Banda Transportadora, chapas, por gravedad entre otros) ○ Malacates eléctricos/neumáticos • Electrificación de minas: presentar la justificación, diseño y cálculo del circuito eléctrico proyectado según normatividad aplicable (RETIE) ○ Plano de redes eléctricas en superficie y bajo tierra a escala 1: 2000 o más detallada • Desagüe y manejo de aguas: presentar sistema de control de aguas, su recorrido ubicación de bombas y cunetas. ○ Hacer el diseño y cálculo de obras relacionadas con el manejo de aguas subterráneas, superficiales y de escorrentía. ○ Características de los equipos de bombeo ○ Presentar plano de manejo de aguas indicando recorrido del agua, pozos de almacenamiento, ubicación de las bombas y cunetas a una escala 1:2000 o más detallada. • Sostenimiento: Realizar el diseño y cálculo de los elementos de entibación o fortificación para cada una de las labores mineras. ○ Diseño y cálculo de los elementos de sostenimiento proyectados para las labores de desarrollo, preparación y explotación



		○ Presentar gráfica de cada tipo de sostenimiento utilizado con sus dimensiones correspondientes a una escala 1:50 ● Ventilación: Descripción, diseño y cálculo del circuito principal de ventilación para garantizar las condiciones de seguridad de los trabajadores. ○ Presentar diseño y cálculo del circuito de ventilación ○ Cálculo de caudales por labores mineras ○ Cálculo de ventiladores principales y auxiliares ○ Planos de isométricos de ventilación a escala 1:2000 o con más detalle incluyendo labores mineras proyectadas ○ Plano de concentraciones de gas metano en los mantos de carbón metalúrgico a explotar de acuerdo con lo estipulado en el decreto 1886 de 2015 ● Infraestructura minera. Descripción de la infraestructura actual, y proyectada ○ Presentar justificación y descripción del requerimiento de infraestructura actual y la proyectada, que tenga en cuenta la normatividad de seguridad vigente (vías de acceso, patios de acopio, infraestructura de soporte minero, planta de beneficio, oficinas, talleres etc.). ○ Plano que contenga la ubicación de la infraestructura actual y la proyectada a escala 1:2000 o más detallada. ● Disposición de estériles: presentar descripción de la ubicación, diseño, cálculos de capacidad volúmenes y vida útil de la zona de botaderos de estériles (si aplica) ○ Presentar estudio geotécnico de suelos de la zona establecida para el botadero y calcular la capacidad portante, Factor de seguridad y asentamiento. ■ Exploración geotécnica ■ Perfil de suelo (Columnas estratigráficas) ■ Propiedades geomecánicas ■ Cálculo de capacidad portante neta y de seguridad ■ Cálculo de asentamientos ■ Anexos (ensayos de laboratorio) fotografías ■ Plano de localización del botadero a escala 1:2000 o más detallada ● Beneficio y transformación de minerales. Presentar ubicación de la planta de beneficio y una breve descripción de las operaciones unitarias (trituración, clasificación y las demás involucradas dentro del proyecto minero) ○ Descripción, diseño y cálculo de equipos y herramientas para el beneficio y/o transformación de carbón metalúrgico, indicando calidades y cantidades beneficiadas. ○ Diagrama de flujo de la planta de beneficio y/o transformación. ○ Presentar plano de localización de la infraestructura de la planta de beneficio y/o transformación.
--	--	---



		• Producción. Presentar el estimativo de producción anual por cada manto de carbón metalúrgico a explotar ○ Presentar cálculo de rendimientos de personal, maquinaria y/o equipos en base al método de explotación y arranque seleccionado en cada una de las labores mineras. Estimar: ■ Producción por turno ■ Producción diaria, mensual y anual. • cronograma de actividades. Presentar el cronograma de actividades a ejecutar de acuerdo con las labores de desarrollo, preparación y explotación. • Personal requerido. Determinar el personal requerido para todas las labores discriminado por cargo u ocupación. ○ Presentar descripción y cantidad de personal de acuerdo con la función desempeñada en los diferentes procesos del proyecto minero • Servidumbres mineras. Determinar si el proyecto minero cuenta con servidumbre minera o requiere de esta figura para desarrollar su operación. ○ Presentar descripción de la servidumbre, indicando tipo de servidumbre de acuerdo con las necesidades establecidas ○ Presentar plano de servidumbre minera a escala 1:2000 o más detallada
Términos de referencia Plan de trabajos y Obras complementarios	Según el art. 10 del decreto 480 de 2014	• Documento técnico que contenga mínimo: ○ Definición definitiva del área de explotación ○ Mapa topográfico del área ○ Ubicación, cálculo y características de las reservas que serán explotadas en el desarrollo del subcontrato de explotación ○ descripción y localización de las instalaciones, obras de minería, planta de beneficio, transporte y transformación ○ producción mensual y anual ○ Plan minero de explotación





8. GESTIÓN AMBIENTAL

La gestión ambiental constituye un componente transversal del planeamiento minero y debe integrarse desde las etapas iniciales del proyecto, con el propósito de prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales derivados de la actividad minera.

La incorporación de criterios ambientales en la planificación permite armonizar el aprovechamiento del recurso mineral con la protección de los recursos naturales, el cumplimiento de la normatividad vigente y la sostenibilidad de la operación. Para ello, es necesario articular los instrumentos técnicos mineros con los instrumentos de gestión ambiental, evitando la duplicidad de información y facilitando los procesos de evaluación, seguimiento y control por parte de las autoridades competentes.

8.1. Articulación entre los Instrumentos Técnicos Mineros y la Licencia Ambiental

La información que se presenta a continuación en la **Tabla 8-1** permite al titular minero identificar Los instrumentos técnicos mineros y los instrumentos de gestión ambiental comparten información relacionada con las características del proyecto, las condiciones del área de influencia, la identificación de impactos, las medidas de manejo ambiental y las actividades de cierre y abandono.

La adecuada articulación entre estos instrumentos permite optimizar la elaboración de los documentos técnicos, mejorar la consistencia de la información presentada ante las autoridades y facilitar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa vigente.



La **Tabla 8-1** presenta una correlación entre los principales capítulos de los instrumentos técnicos mineros y la información contenida en la licencia ambiental que puede ser utilizada como soporte para su elaboración.

Tabla 8-1

Correspondencia entre los instrumentos técnicos mineros y la información contenida en la licencia ambiental.

Instrumento técnico minero	Norma aplicable	Información que puede ser soportada con el instrumento ambiental (Licencia Ambiental o instrumento equivalente)
Programa de Trabajos y Obras (PTO)	Resolución 143 de 2017, modificada por la Resolución 299 de 2018	Tomo I. Estimación de Recursos Minerales: • Información hidrológica e hidrogeológica. • Caracterización del medio físico, biótico y socioeconómico. • Relacionamento con comunidades y componente social. Tomo II. Estimación de Reservas Minerales: • Factores ambientales. • Identificación y evaluación de impactos ambientales. • Medidas de manejo ambiental. • Plan de cierre y abandono. • Factores sociales.
Plan de Trabajos y Obras Complementario (PTOC)	Resolución 414 de 2014	• Plan de recuperación geomorfológica, paisajística y forestal. • Plan de cierre y abandono de la explotación minera. • Programas de restauración ambiental. • Medidas de manejo ambiental asociadas al cierre.
Plan de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD)	Resolución 010 de 2024	• Manejo y disposición de estériles. • Manejo de aguas superficiales y subterráneas. • Manejo y conservación de la capa orgánica. • Beneficio y transformación de minerales, cuando aplique. • Plan de cierre y abandono. • Medidas de manejo ambiental requeridas para la operación.
Anexo técnico para solicitudes de contrato de concesión con requisitos diferenciales	Resolución 614 de 2020	• Manejo de aguas. • Disposición de estériles. • Disposición de colas, cuando aplique. • Manejo y acopio de suelos. • Identificación de los principales aspectos ambientales asociados a la operación minera.

La correlación presentada evidencia que diversos componentes desarrollados durante la elaboración de la licencia ambiental pueden servir de soporte para la preparación de los instrumentos técnicos mineros, especialmente en aspectos relacionados con la caracterización ambiental, la gestión del recurso hídrico, el manejo de estériles, los programas de manejo ambiental, el componente social y las actividades de cierre y abandono de la operación minera.

Esta integración contribuye a optimizar el proceso de formulación de los instrumentos técnicos, mejora la consistencia de la información y facilita los

procesos de evaluación por parte de la autoridad minera y ambiental.

Para ampliar la información presentada en esta sección, se recomienda consultar el **Anexo 8.3. Requerimientos ambientales en los diferentes instrumentos técnicos mineros**, el cual desarrolla de manera detallada los aspectos ambientales exigidos en cada uno de los instrumentos técnicos aplicables a la pequeña minería.



8.1.1. Requisitos para la solicitud de viabilidad y licenciamiento ambiental

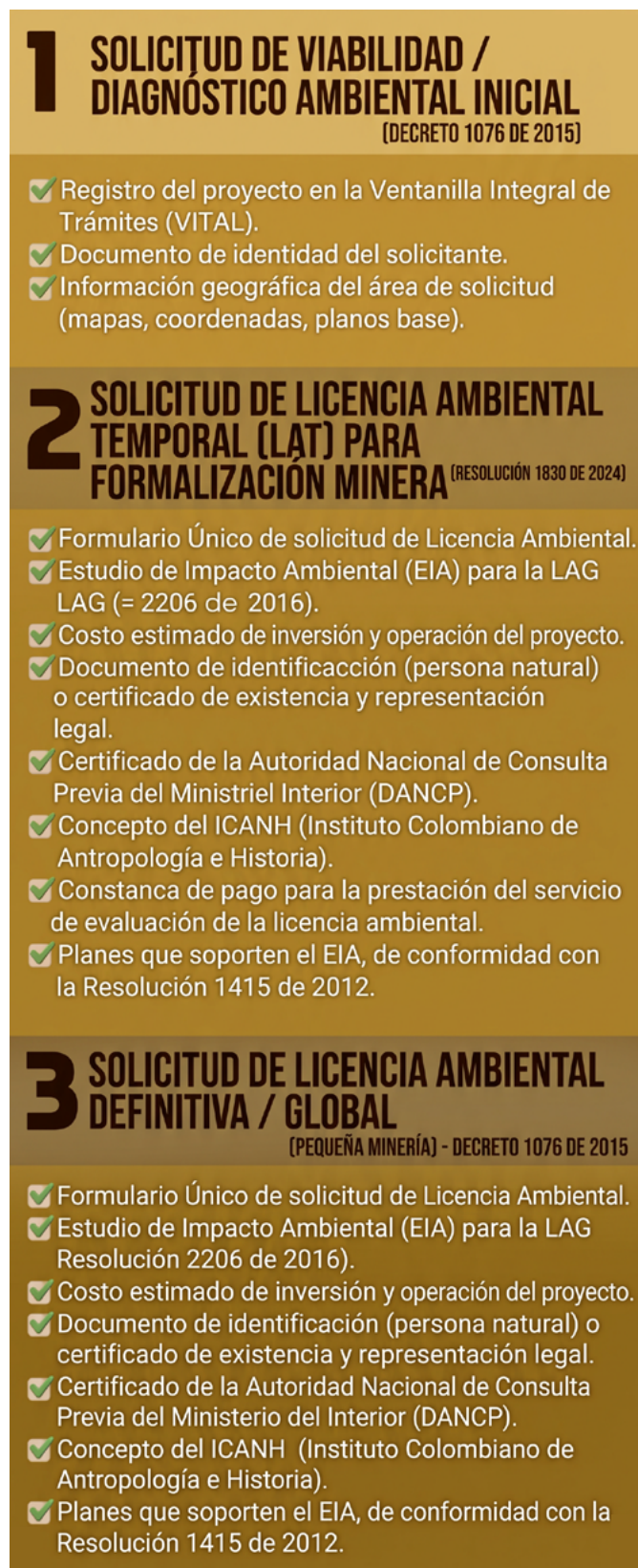
La obtención de la viabilidad y del licenciamiento ambiental constituye un requisito fundamental para el desarrollo de las actividades mineras, de conformidad con la normativa ambiental vigente. Dependiendo del estado del proceso de formalización y de las características del proyecto, el titular minero deberá cumplir los requisitos establecidos para la solicitud de la licencia ambiental temporal o de la licencia ambiental definitiva.

El conocimiento previo de estos requisitos facilita la preparación de la información técnica, optimiza los tiempos de trámite y reduce la posibilidad de requerimientos adicionales por parte de la autoridad ambiental competente.

La **Figura 8-1** presenta de manera resumida los principales requisitos que deben considerarse para los diferentes trámites ambientales aplicables a operaciones de pequeña minería y procesos de formalización minera.

Figura 8-1

Lista de requisitos para trámites ambientales ante la autoridad ambiental



Los requisitos varían según el tipo de trámite ambiental y la etapa del proyecto minero; sin embargo, todos buscan garantizar que la actividad se desarrolle bajo criterios de prevención, manejo y seguimiento ambiental, en concordancia con la normatividad vigente.

8.2. Identificación de impactos ambientales

La identificación de impactos ambientales constituye una etapa fundamental del planeamiento minero, ya que permite reconocer los efectos potenciales de las actividades de explotación sobre el medio físico, biótico y socioeconómico, facilitando la definición oportuna de medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación.

La adecuada identificación y evaluación de los impactos ambientales contribuye al cumplimiento de los instrumentos de manejo ambiental y fortalece la sostenibilidad de la operación minera.

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

La Resolución 1830 de 2024, mediante la cual se reglamenta la Licencia Ambiental Temporal en el marco del Plan Único de Legalización y Formalización Minera, establece lineamientos para la identificación y evaluación de los impactos ambientales asociados a las actividades de explotación minera.

Su aplicación permite priorizar los impactos ambientales significativos y definir las medidas de manejo correspondientes, favoreciendo una planificación ambiental coherente con las condiciones del proyecto y con los objetivos del proceso de formalización minera.

Antes de iniciar la evaluación de impactos ambientales, es recomendable verificar el conocimiento y la aplicación de los principales instrumentos normativos que orientan este proceso.

La **Tabla 8-2** presenta una lista de verificación que permite identificar el nivel de conocimiento y aplicación de algunos instrumentos normativos fundamentales para la evaluación de impactos ambientales en proyectos de pequeña minería.

La aplicación de estos instrumentos normativos proporciona un marco de referencia para la identificación, evaluación y gestión de los impactos ambientales y sociales asociados a la actividad minera. Su utilización favorece la elaboración de instrumentos técnicos consistentes y fortalece los procesos de formalización, seguimiento y control ambiental.

La **Figura 8-2** presenta los principales documentos anexos a la Resolución 1830 de 2024, los cuales constituyen herramientas de apoyo para la elaboración de los estudios ambientales requeridos durante los procesos de formalización minera.

Tabla 8-2

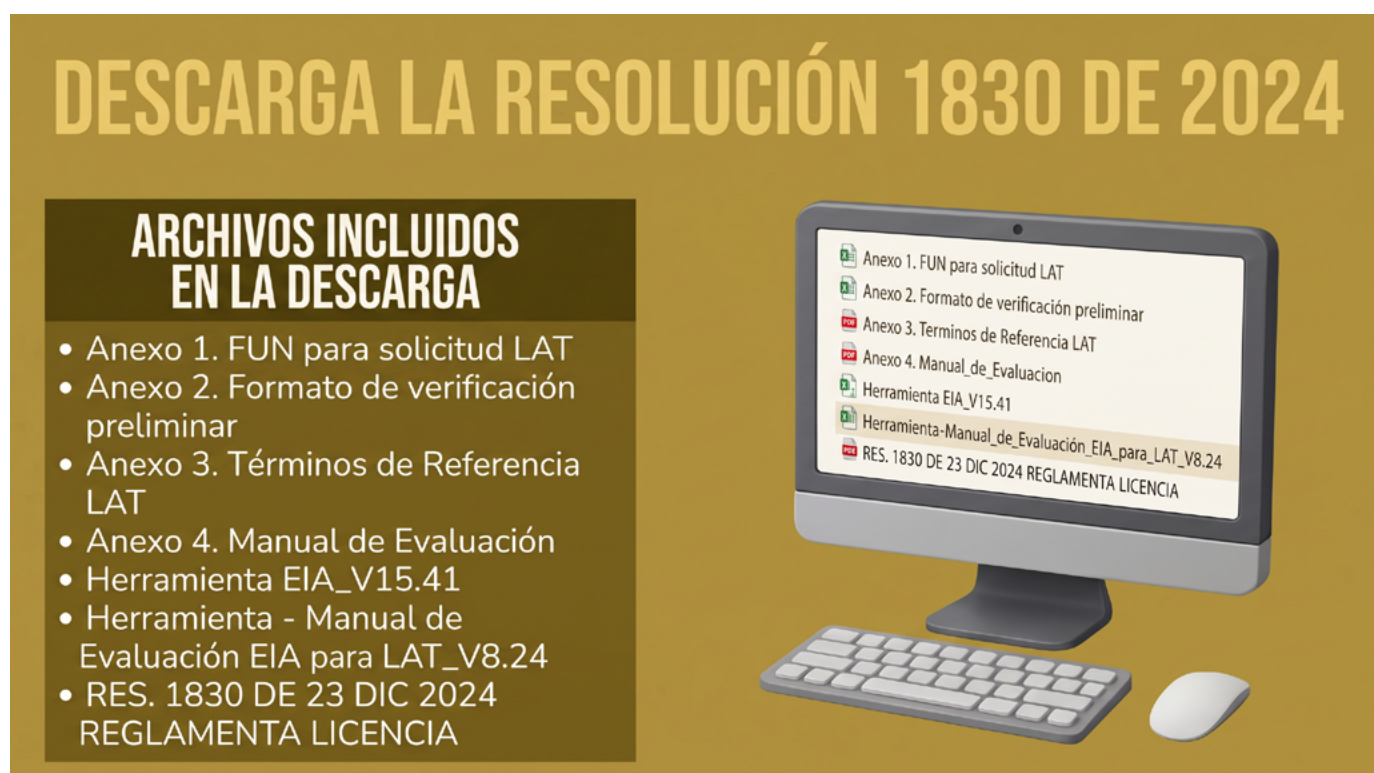
Lista de verificación para la aplicación de instrumentos normativos en la evaluación de impactos ambientales

Aspecto por verificar	Verificación	Acción recomendada	Propósito
Conocimiento de la Resolución 1830 de 2024.	☐ SÍ ☐ NO	Revisar los lineamientos para la evaluación de impactos ambientales y la formulación de medidas de manejo.	Facilitar la aplicación de la Licencia Ambiental Temporal.
Aplicación del Listado de Impactos Ambientales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	☐ SÍ ☐ NO	Identificar y priorizar los impactos ambientales aplicables al proyecto minero.	Estandarizar la evaluación de impactos ambientales.
Conocimiento de la Resolución 263 de 2021 de la Agencia Nacional de Minería (Plan de Gestión Social).	☐ SÍ ☐ NO	Incorporar los lineamientos para la formulación del Plan de Gestión Social y la gestión de impactos sobre las comunidades.	Fortalecer la gestión social del proyecto minero.



Figura 8-2

Documentos anexos de la Resolución 1830 de 2024



Como buena práctica minera, es fundamental que los proyectos mineros conozcan la regulación normativa aplicable al proceso de licenciamiento ambiental para proyectos de formalización minera, así como el uso de herramientas técnicas como la matriz de evaluación de impactos ambientales, la cual facilita la toma de decisiones, mejora la planificación ambiental del proyecto y fortalece el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, al descargar el contenido de la Resolución 1830 del 23 de diciembre de 2024 se podrá utilizar libremente la herramienta EIA_V15.41 como se observa en la **Figura 82**.

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

De acuerdo con los Términos de Referencia establecidos en la Resolución 2206 de 2016 para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental

(EIA) en proyectos mineros, la evaluación de impactos ambientales comprende la identificación de las actividades del proyecto, la caracterización del área de influencia, la identificación y valoración de los impactos ambientales, así como la definición de las medidas de manejo correspondientes.

Con el propósito de facilitar la aplicación de estos lineamientos en operaciones de pequeña minería, se propone una metodología simplificada que permite identificar, evaluar y priorizar los impactos ambientales desde la etapa de planeamiento minero.

La **Tabla 8-3** presenta la correspondencia entre los principales componentes exigidos en los Términos de Referencia para el Estudio de Impacto Ambiental y la metodología propuesta como buena práctica para la evaluación de impactos ambientales en operaciones de pequeña minería.



Tabla 8-3

Correspondencia entre los componentes del Estudio de Impacto Ambiental y la metodología propuesta para la evaluación de impactos ambientales

Componente del EIA (Resolución 2206 de 2016)	Metodología propuesta
Descripción del proyecto	Paso 1. Identificación de las actividades mineras.
Identificación de impactos ambientales	Paso 2. Relación entre actividades e impactos ambientales.
Evaluación de impactos	Paso 3. Clasificación y priorización de los impactos.
Plan de Manejo Ambiental	Paso 4. Definición de medidas de manejo ambiental.
Seguimiento ambiental	Seguimiento mediante indicadores y acciones de control.

La metodología propuesta mantiene la estructura establecida en los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, adaptándola a un procedimiento de aplicación práctica que facilita su implementación en proyectos de pequeña minería.

La **Figura 8-3** resume las principales etapas del procedimiento para la identificación y evaluación de impactos ambientales en operaciones de pequeña minería.

Metodología para la identificación y evaluación de impactos ambientales

La metodología propuesta se desarrolla mediante una secuencia de actividades que permite identificar los impactos generados por las diferentes etapas del proyecto minero y establecer las medidas de manejo ambiental correspondientes.

La metodología inicia con la identificación de las actividades desarrolladas en la operación minera, continúa con la determinación de los componentes ambientales potencialmente afectados, la valoración de los impactos generados y finaliza con la definición de las medidas de manejo ambiental, priorizando aquellos impactos que requieren una intervención inmediata.

Paso 1. Identificación de las actividades del proyecto minero

Como primer paso, se deben identificar las actividades que hacen parte de la operación minera y que pueden generar impactos sobre el medio ambiente.

Actividades por verificar

- Remoción de cobertura vegetal.
- Excavación y explotación.
- Cargue y transporte.
- Trituración y beneficio.

Figura 8-3

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



- Acopio de material.
- Manejo de estériles.
- Manejo de combustibles.
- Bombeo de aguas.
- Vertimientos.
- Disposición de residuos.

Paso 2. Identificación de los componentes ambientales afectados

Una vez identificadas las actividades desarrolladas en la operación, se debe establecer cuáles componentes ambientales pueden resultar afectados.

La **Tabla 8-4** presenta algunos ejemplos de la relación entre actividades mineras, impactos ambientales y componentes potencialmente afectados.

Paso 3. Clasificación del nivel de impacto por componente ambiental

Una vez identificados los componentes ambientales potencialmente afectados, se procede a evaluar el nivel de impacto asociado a cada uno de ellos. Para ello, se deben analizar los impactos correspondientes a los componentes aire, agua, suelo y medio socioeconómico, con el fin de determinar su importancia y priorizar la implementación de las medidas de manejo ambiental.

Las **Tablas 8-5 a 8-8** presentan un listado de los principales impactos ambientales asociados a cada componente, el cual sirve como herramienta de apoyo para su identificación, clasificación y priorización durante el proceso de evaluación ambiental.

Tabla 8-4.

Relación entre actividades mineras, impactos y componentes ambientales afectados

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	



COMPONENTE AIRE

Tabla 8-5 Identificación de impactos componente aire

N°	Impacto	Nivel	Marque con una x el que aplique
1	Generación de polvo y emisión de gases por cargue y transporte	Alto	
2	Generación de polvo y emisión de gases por trituración / beneficio	Alto	
3	Generación de polvo por acopio de mineral	Medio	
4	Olores por residuos	Bajo	

COMPONENTE AGUA

Tabla 8-6 Identificación de impactos componente agua

No.	Impacto	Nivel	Marque con una x el que aplique
5	Aporte de sedimentos a quebradas	Alto	
6	Vertimiento de aguas sin tratamiento	Alto	
7	Alteración de drenajes naturales	Medio	
8	Contaminación por derrame combustibles, grasas y aceites	Alto	

COMPONENTE SUELO

Tabla 8-7 Identificación de impactos componente suelo

No.	Impacto	Nivel	Marque con una x el que aplique
9	Remoción de cobertura vegetal	Alto	
10	Inestabilidad geotécnica por disposición de estériles	Alto	
11	Contaminación del suelo por derrame de combustibles, grasas y aceites	Medio	

COMPONENTE SOCIAL

Tabla 8-8 Identificación de impactos componente comunidad

No.	Impacto	Nivel	Marque con una x el que aplique
12	Ruido por realizar beneficio y transformación del mineral	Medio	
13	Ruido por acopio, cargue y transporte del mineral	Alto	
14	Afectación paisajística	Bajo	
15	Generación de expectativas en la comunidad por explotación de reservas mineras	Alto	



Paso 4. Priorización de impactos y definición de medidas de manejo ambiental

Una vez identificados y clasificados los impactos ambientales según su nivel de importancia, se procede a establecer su prioridad de atención y a definir las medidas de manejo ambiental correspondientes. Este proceso permite orientar la implementación de acciones de prevención, mitigación, corrección y compensación de los impactos generados por la actividad minera.



Tabla 8-9
Identificación de nivel de impactos y cómo actuar

Nivel de impacto	Impactos identificados (según Tablas 8-5 a 8-8)	Acciones de manejo recomendadas
Alto	☐ 1 ☐ 2 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 ☐ 13 ☐ 15	• Implementar controles técnicos de manera inmediata. • Ejecutar las medidas de prevención, mitigación, corrección y, cuando aplique, compensación. • Realizar seguimiento mensual a la eficacia de las medidas implementadas. • Registrar las evidencias mediante bitácoras, registros fotográficos u otros soportes. • Informar oportunamente al responsable ambiental de la operación.
Medio	☐ 3 ☐ 7 ☐ 11 ☐ 12	• Implementar medidas preventivas y de manejo ambiental. • Realizar seguimiento trimestral. • Mantener registros de seguimiento mediante bitácoras o registros fotográficos.
Bajo	☐ 4	• Mantener la aplicación de buenas prácticas operativas. • Implementar las medidas de manejo o compensación definidas, cuando correspondan. • Garantizar el orden y la limpieza de las áreas intervenidas. • Realizar seguimiento semestral. • Registrar las acciones ejecutadas en la bitácora de la operación.

La priorización de los impactos ambientales permite establecer el nivel de atención requerido para cada impacto identificado y orientar la implementación de las medidas de manejo ambiental. Los impactos clasificados como altos requieren una intervención inmediata y un seguimiento más fre-

cuento, mientras que los medios y bajos pueden gestionarse mediante acciones preventivas, buenas prácticas operativas y un monitoreo periódico, de acuerdo con su nivel de significancia.



Criterios para la priorización de impactos ambientales

- Impactos altos: requieren la implementación inmediata de medidas de manejo ambiental, seguimiento mensual y verificación de la eficacia de los controles establecidos.
- Impactos medios: requieren la aplicación de medidas preventivas y de mitigación, así como seguimiento trimestral para verificar su evolución.
- Impactos bajos: se gestionan mediante la aplicación de buenas prácticas operativas, medidas de manejo o compensación, cuando correspondan, y seguimiento semestral.

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

Una vez identificados y valorados los impactos ambientales del proyecto minero, es necesario definir las medidas de manejo ambiental que permitan prevenir, mitigar, corregir o compensar los efectos generados por las actividades de explotación. Estas medidas deben incorporarse desde la etapa de planeamiento minero, con el fin de garantizar su articulación con los instrumentos técnicos y ambientales exigidos por la normatividad vigente.

La formulación de las medidas de manejo ambiental constituye un elemento fundamental del Plan de Manejo Ambiental (PMA), ya que orienta la implementación de acciones encaminadas a reducir los impactos negativos, fortalecer el desempeño ambiental de la operación y promover el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

La **Figura 8-4** presenta la secuencia general para la definición e implementación de las medidas de manejo ambiental, permitiendo verificar que cada impacto identificado cuente con una acción de manejo previamente planificada.

Figura 8-4

Paso a paso para gestionar impactos



El proceso inicia con la identificación y valoración de los impactos ambientales, continúa con la selección del tipo de medida de manejo más apropiada y finaliza con su incorporación al Plan de Manejo Ambiental y al planeamiento minero. Este procedimiento facilita la planificación de las acciones ambientales y fortalece el cumplimiento de los requisitos establecidos por la autoridad ambiental.

Tipos de medidas de manejo ambiental

Las medidas de manejo ambiental pueden clasificarse de acuerdo con el objetivo que persiguen durante el desarrollo del proyecto minero:

- **Medidas de prevención:** orientadas a evitar la generación de impactos ambientales antes de que ocurran.
- **Medidas de mitigación:** dirigidas a disminuir la magnitud o intensidad de los impactos ambientales que no pueden evitarse.



- Medidas de corrección: implementadas para recuperar o restaurar las condiciones ambientales afectadas por la actividad minera.
- Medidas de compensación: destinadas a resarcir los impactos residuales que no pueden prevenirse, mitigarse o corregirse completamente.

Como herramienta de apoyo para verificar la incorporación de las medidas de manejo ambiental en el planeamiento minero, se recomienda consultar el Anexo 8.1. Lista de verificación para el planeamiento ambiental del proyecto minero, el cual permite corroborar la implementación de las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación definidas a partir de la metodología de evaluación de impactos ambientales desarrollada en este capítulo.

Figura 8-5
Gestión ambiental desde el planeamiento minero

 MEDIDA	 ¿QUÉ SIGNIFICA?	 ¿CUÁNDO SE APLICA?	 EJEMPLO EN PEQUEÑA MINERÍA
PREVENCIÓN	Son las acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que pueda generar un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente.	Antes de iniciar las actividades mineras.	Seleccionar un área de explotación que no afecte nacimientos de agua, humedales o bosques, y definir un diseño que reduzca al máximo la remoción de cobertura vegetal.
MITIGACIÓN	Son las acciones dirigidas a minimizar los impactos y efectos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente.	Durante la ejecución de la actividad minera.	Construir zanjas de drenaje, instalar trampas de sedimentos, controlar el polvo mediante humectación de vías o reducir el ruido de la maquinaria.
CORRECCIÓN	Son las acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del ambiente afectado por el proyecto, obra o actividad.	Durante o al finalizar la explotación, cuando exista un área impactada.	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.	Quando 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 los materiales y residuos generados durante las diferentes etapas del proyecto minero constituye un componente fundamental de la planificación ambiental. Su incorporación desde el planeamiento minero permite prevenir impactos sobre el medio físico y biótico, optimizar el aprovechamiento de materiales, garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental y facilitar la ejecución de las actividades de cierre y restauración.

La planificación debe considerar los materiales y residuos que puedan generarse durante las etapas de exploración, construcción y montaje, explotación, beneficio, transformación, cierre y poscierre, definiendo las alternativas para su almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento y disposición final, de conformidad con la normativa ambiental aplicable.





8.3.1.1. Material estéril

El material estéril corresponde a los materiales extraídos durante las labores mineras que no presentan interés económico y que requieren un manejo técnico y ambiental adecuado para prevenir procesos de inestabilidad, erosión, sedimentación y afectación de los recursos naturales.

Durante el planeamiento minero deben estimarse los volúmenes de material estéril, identificar las fuentes de generación y definir las áreas destinadas para su disposición, considerando criterios de estabilidad geotécnica, drenaje, accesibilidad y las especificaciones establecidas para las Zonas de Manejo de Escombros y Materiales de Excavación (ZODME).

La **Figura 8-6** presenta un esquema general de los principales puntos de generación de material estéril durante las operaciones de minería subterránea de carbón, constituyendo una herramienta de apoyo para su incorporación en la planificación ambiental y operativa del proyecto.

Figura 8-6

Clasificación de generación de estéril en minería de carbón



La figura permite identificar las etapas del proceso minero en las que se genera material estéril y facilita la planificación de las actividades de manejo, transporte y disposición final, reduciendo los riesgos ambientales y operacionales asociados a su inadecuada gestión.

Buenas prácticas para la disposición de material estéril

La adecuada disposición del material estéril contribuye a mantener la estabilidad física de las áreas intervenidas, controlar los procesos erosivos y facilitar las actividades de recuperación ambiental.

Las **Figuras 8-7 y 8-8** presentan ejemplos de buenas prácticas para la disposición del material estéril en las Zonas de Manejo de Escombros y Materiales de Excavación (ZODME) y para la revegetalización de los taludes conformados durante la operación minera.



La disposición técnica del material estéril debe realizarse de manera controlada, considerando criterios de estabilidad, drenaje superficial, conformación de terrazas y accesibilidad para facilitar las labores de seguimiento y recuperación ambiental.

Figura 8-7

Disposición adecuada para materiales estériles a partir de proceso minero

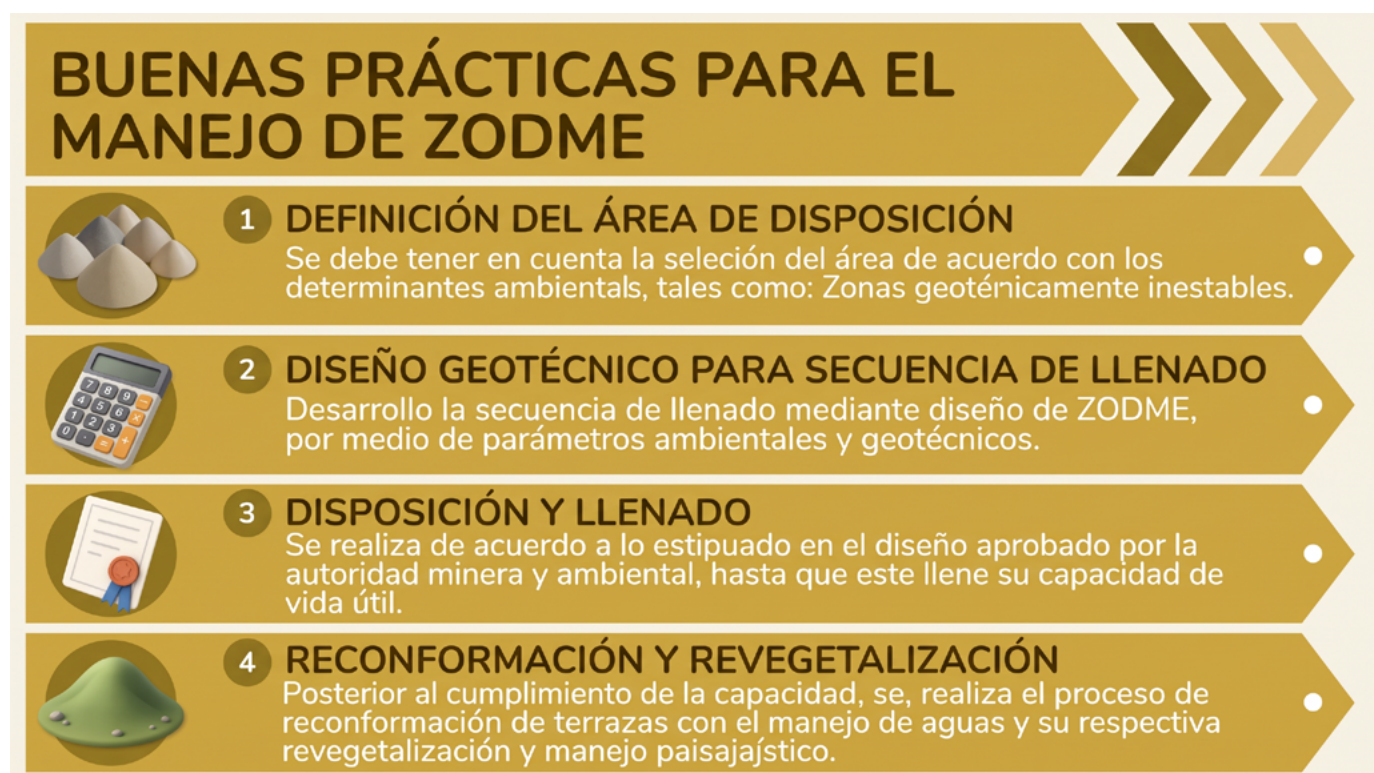


Figura 8-8

Proceso de revegetalización de taludes en minería de carbón metalúrgico



La revegetalización de taludes constituye una medida de estabilización y restauración ambiental que contribuye a controlar la erosión, favorecer la recuperación del suelo y facilitar la integración paisajística de las áreas intervenidas.

Planeación del seguimiento y control

El manejo del material estéril requiere un programa de seguimiento que permita verificar el desempeño de las ZODME y evaluar la eficacia de las medidas de manejo implementadas.

Este seguimiento debe contemplar indicadores relacionados con la estabilidad física de las terrazas, el funcionamiento de las obras de drenaje, el control de la erosión, la recuperación de la cobertura vegetal y el cumplimiento de las condiciones establecidas en el instrumento ambiental.

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.

8.3.1.2. Residuos sólidos ordinarios y peligrosos

La gestión de los residuos sólidos ordinarios y peligrosos constituye un componente esencial de la planificación ambiental de los proyectos mineros, ya que permite prevenir la contaminación del suelo, el agua y el aire, proteger la salud de los trabajadores y garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

Durante las diferentes etapas del proyecto minero —exploración, construcción y montaje, explotación, beneficio, cierre y poscierre, cuando aplique— pueden generarse residuos con características y niveles de peligrosidad diferentes. Por esta razón, el planeamiento minero debe incorporar estrategias para su identificación, clasificación, separación en la fuente, almacenamiento temporal, aprovechamiento, transporte y disposición final, de conformidad con los requisitos legales y las buenas prácticas ambientales.



La planificación de estas actividades facilita la implementación de un sistema integral de gestión de residuos, optimiza el aprovechamiento de materiales reciclables, minimiza los riesgos de contaminación y fortalece el desempeño ambiental de la operación minera.

La **Figura 8-9** presenta la clasificación general de los residuos sólidos que pueden generarse durante el desarrollo de un proyecto minero, mientras que la **Tabla 8-11** describe las principales alternativas de manejo para cada tipo de residuo.

En la **Figura 8-9**, se presenta un ejemplo de clasificación y manejo de los residuos sólidos ordinarios y peligrosos generados en la minería de carbón, incluyendo la fuente de generación, la separación en la fuente y las alternativas de disposición final. Este esquema sirve como referencia para la planificación de la gestión integral de residuos del proyecto minero.

De igual forma, en la **Figura 8-10**, se presenta un ejemplo en que se establece la clasificación del punto ecológico y la selección del punto de Residuos peligrosos RESPEL, específicamente para la actividad de minería de carbón en los procesos de optimización para la formalización. Este esquema sirve como referencia para la planificación de la gestión integral de residuos del proyecto minero.

Figura 8-9

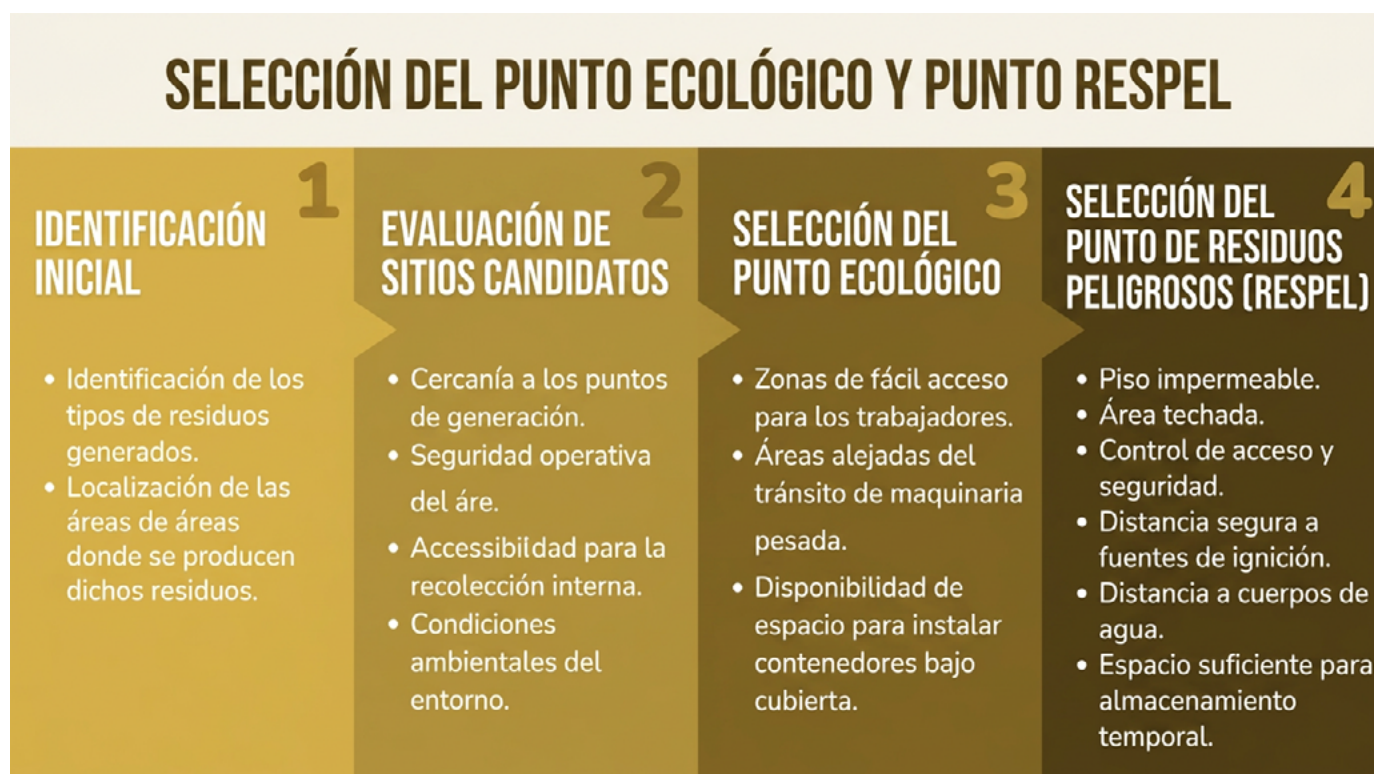
Esquema para disposición adecuada de residuos sólidos

TIPO DE RESIDUO	FUENTE DE GENERACIÓN	SELECCIÓN EN LA FUENTE	DISPOSICIÓN FINAL
 ORGÁNICOS	Zonas de campamento y áreas de alojamiento	 PUNTO ECOLÓGICO CANECA VERDE	• Compostaje • Abono • Alimento para animales • Rellenos sanitarios
 APROVECHABLES	Área administrativa y oficinas, Comedor, cafetería o cocina del campamento. Taller de mantenimiento de equipos menores	 PUNTO ECOLÓGICO CANECA BLANCA	• Entregases de oficio. • Entrega a gestores o empresas autorizadas. • Llevarlos a un centro de acopio interno
 NO APROVECHABLES	Área administrativa y oficinas, Comedor, cafetería o cocina del campamento. Taller de mantenimiento de equipos menores, área de herramientas	 PUNTO ECOLÓGICO CANECA NEGRA	• Entrega a recicladores de oficio. • Entrega a gestores o empresas autorizadas. • Llevarlos a un centro de acopio interno
 RESIDUOS PELIGROSOS	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	 PUNTO ECOLÓGICO CANECA ROJA	• Entrega a gestores o empresas autorizadas



Figura 8-10

Selección de punto ecológico y punto RESPEL



8.3.1.2. Seguimiento y control residuos sólidos ordinarios y peligrosos

El seguimiento y control de la gestión de los residuos sólidos ordinarios y peligrosos permite evaluar la eficacia de las medidas implementadas para su separación, almacenamiento, aprovechamiento, transporte y disposición final, verificando el cumplimiento de los objetivos establecidos en el planeamiento ambiental del proyecto minero.

Este proceso se fundamenta en el monitoreo periódico de indicadores de gestión que relacionan las cantidades de residuos generados, aprovechados, tratados y dispuestos con las metas definidas para la operación. La evaluación de estos indicadores facilita la identificación de oportunidades de mejora, la optimización de los procesos de gestión de residuos y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

La **Tabla 8-11** presenta un ejemplo de metodología para el seguimiento y control de los residuos sólidos ordinarios y peligrosos, incluyendo actividades de verificación, indicadores, frecuencia de seguimiento y los registros requeridos para evaluar el desempeño del sistema de gestión de residuos durante la operación minera.



Tabla 8-11

Metodología para el seguimiento y control de residuos sólidos ordinarios y peligrosos

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

8.3.2. Gestión del recurso hídrico desde el planeamiento

El recurso hídrico comprende el conjunto de aguas superficiales, subterráneas, estuarinas y marinas presentes en el territorio nacional, las cuales hacen parte del ciclo hidrológico y cumplen funciones ecológicas, sociales y económicas fundamentales para la sostenibilidad ambiental, de conformidad con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

En el contexto de la actividad minera, la gestión del recurso hídrico constituye un componente estratégico del planeamiento, ya que permite identificar los posibles efectos de la operación sobre las fuentes hídricas y los ecosistemas asociados, así como definir oportunamente las medidas necesarias para su protección y uso sostenible.



Minería de carbón metalúrgico

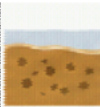
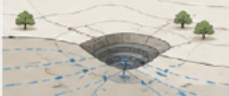
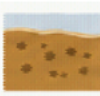
En las operaciones de minería de carbón metalúrgico, incluyendo aquellas desarrolladas a pequeña escala, el planeamiento minero debe incorporar la identificación de las actividades con potencial de generar impactos sobre el recurso hídrico. Esta evaluación permite establecer medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación acordes con las características del proyecto, las condiciones

ambientales del área de influencia y los requerimientos establecidos por la autoridad ambiental.

La **Tabla 8-12** presenta los principales impactos que pueden generarse sobre el recurso hídrico durante las diferentes etapas de un proyecto de minería de carbón, junto con ejemplos de medidas de manejo ambiental que pueden incorporarse desde el planeamiento minero.

Tabla 8-12

Identificación de impactos de minería de carbón sobre el recurso hídrico

ACTIVIDADES QUE LA CAUSA		IMPACTO Y/O FUENTE		BUENAS PRACTICAS PARA INCORPORAR DURANTE EL PLANEAMIENTO MINERO	
	Exposición de materiales sulfurosos en frentes de explotación, botaderos y galerías		Contaminación de aguas superficiales y subterráneas por drenaje ácido de mina (DAM) y movilización de metales		Durante el planeamiento, identifique las zonas con presencia potencial de materiales sulfurosos e incorpore medidas para prevenir la generación de drenaje ácido de mina (DAM), tales como encapsulamiento, coberturas y manejo diferenciado de aguas de contacto.
	Manejo inadecuado de estériles, escorrentía sobre frentes y botaderos		Deterioro de la calidad del agua por sólidos en suspensión, carbón fino y sedimentos		Durante el planeamiento, defina el diseño de sistemas independientes para el manejo de aguas limpias y aguas de contacto, e incorpore estructuras para el control de sedimentos y la recirculación del agua cuando sea técnicamente viable.
	Labores mineras subterráneas o a cielo abierto que interceptan acuíferos		Alteración de niveles freáticos y reducción local de caudales		Durante el planeamiento, identifique la presencia de acuíferos y evalúe alternativas de diseño y localización que reduzcan su interceptación y minimicen las alteraciones del régimen hidrogeológico.
	Disposición inadecuada de estériles y materiales finos		Riesgo de contaminación por lixiviados		Durante el planeamiento, defina las áreas para disposición de estériles incorporando obras de contención, drenaje y control de lixiviados, de acuerdo con las condiciones del sitio.
	Descarga de aguas tratadas o no tratadas en cuerpos hídricos		Afectación de ecosistemas asociados de hídricos		Durante el planeamiento, identifique los puntos potenciales de vertimiento y defina las alternativas para el tratamiento, recirculación o disposición de las aguas, priorizando la prevención de afectaciones sobre los cuerpos de agua y los ecosistemas asociados.
	Captura de agua para uso minero		Disminución de la disponibilidad del recurso hídrico		Durante el planeamiento, estime la demanda de agua del proyecto y evalúe alternativas para optimizar su uso, recircular el agua y reducir la necesidad de captaciones.

La identificación temprana de los impactos sobre el recurso hídrico facilita la incorporación de medidas de manejo ambiental durante la etapa de planeamiento, contribuyendo a prevenir la contaminación de las fuentes de agua, optimizar el uso del recurso y reducir los riesgos ambientales asociados a la actividad minera.



Planeación del seguimiento y monitoreo del recurso hídrico

El seguimiento y monitoreo ambiental constituyen herramientas fundamentales para verificar la eficacia de las medidas implementadas y evaluar el comportamiento del recurso hídrico durante las diferentes etapas del proyecto minero. La definición de indicadores, frecuencias de monitoreo y registros de control permite detectar oportunamente posibles afectaciones y adoptar las acciones de mejora correspondientes.

La **Figura 8-11** presenta un ejemplo de planificación del seguimiento y monitoreo ambiental del recurso hídrico aplicable a operaciones de minería de carbón metalúrgico.

Figura 8-11

Ejemplo de planificación del seguimiento y monitoreo ambiental del recurso hídrico para minería de carbón

EJEMPLO DE PROPUESTA PARA LA PLANIFICACIÓN DEL SEGUIMIENTO Y MONITOREO AMBIENTAL EN MINERÍA DE CARBÓN	
ASPECTO A PLANIFICAR	¿QUÉ DEBE DEFINIRSE EN EL PLANEAMIENTO?
 MONITOREO DE TURBIDEZ DEL AGUA Definir los puntos y la frecuencia de monitoreo de la turbidez del agua en puntos aguas arriba y aguas abajo del área de extracción.	 SEGUIMIENTO PARÁMETROS CALIDAD Establecer los parámetros de calidad del agua que serán monitoreados de acuerdo con lo definido en el Plan de Manejo Ambiental.
 MONITOREO DE SST Establecer los parámetros de Sólidos Suspendidos Totales (SST) que serán monitoreados para identificar incrementos asociados a la operación minera.	 VERIFICACIÓN VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN Definir el mecanismo y la periodicidad para verificar el cumplimiento de los volúmenes de extracción y sectores autorizados en el permiso ambiental.
 SEGUIMIENTO A LA MORFOLOGÍA CAUCE Identificar los sectores del cauce donde se realizará el seguimiento de cambios en profundidad, estabilidad de orillas y otros aspectos asociados a la extracción.	 REGISTRO FOTOGRÁFICO GEOREFERENCIADO Establecer el registro fotográfico georeferenciado como mecanismo para documentar el estado de áreas intervenidas, orillas y zonas en proceso de restauración.
 SEGUIMIENTO A CAPTACIONES Y CAUDALES Identificar las captaciones cercanas al área del proyecto que serán incluidas en el seguimiento de su estado y disponibilidad de caudal durante la intervención.	 CONTROL MEDIDAS PREVENCIÓN DERRAMES Definir medidas y registros que permitirán verificar la implementación de acciones preventivas para evitar derrames de hidrocarburos y sustancias contaminantes.
 VERIFICACIÓN FUNCIONAMIENTO DRENAJES Definir las obras de drenaje y control de escorrentía que serán objeto de seguimiento para verificar su adecuado funcionamiento y evitar erosión.	 INSPECCIÓN ESTABILIDAD TALUDES Identificar los taludes y frentes de explotación que requerirán seguimiento geotécnico para evaluar su estabilidad física.
 REGISTROS E INDICADORES A PREVER EN EL PLANEAMIENTO: Durante el planeamiento del proyecto, defina los registros e indicadores que permitirán realizar el seguimiento y monitoreo ambiental de la operación, tales como informes de monitoreo, resultados de laboratorio, actas de inspección, registros fotográficos georeferenciados, reportes de operación y mediciones de campo.	



Tabla 8-13

Gestión de emisiones atmosféricas

Impacto Fuente y/o	Actividad que la causa	Buenas Prácticas Ambientales	Propuesta Seguimiento y Monitoreo		
			Descripción	Periodicidad	Registro de Cumplimiento
Material particulado (polvo de carbón)	Extracción, cargue, descargue, trituración, transporte interno y ZODME, beneficio.	Humectación de vías internas y patios de acopio.	Verificar humedad del material y registro de uso de carro tanque.	Diario	Bitácora de riego / informe de operador
		Transporte en volquetas cubiertas.	Verificar que las volquetas salgan con carpa puesta.	Diario	Lista de chequeo en portería
		Cerramiento del patio de acopio con barreras vivas y/o geotextil.	Evaluar crecimiento y cobertura vegetal y/o verificación de estado de geotextil	Mensual	Registro fotográfico / acta de mantenimiento
		Coberturas temporales en pilas de carbón inactivo.	Inspección visual del estado de lonas y anclajes.	Semanal	Registro fotográfico
		Compactación de acopios para reducir dispersión.	Confirmar estabilidad y compactación de material.	Semanal	Check operativo
		Control de velocidad en vías internas.	Verificar señalización visible y radar de velocidad.	Semanal	Registro de vigilancia
		Vías en recebo o afirmado.	Revisar estado de vías y presencia de baches generadores de polvo.	Mensual	Acta de inspección
Emisiones de gases	Operación de malacates, maquinaria pesada, plantas diésel, volquetas, martillos y cualquier equipo de combustión, transformación y beneficio.	Mantenimiento preventivo de motores.	Revisar cumplimiento del plan de mantenimiento.	Trimestral	Informe de mantenimiento
		Control de opacidad en equipos diésel.	Medición de opacidad	Semestral	Reporte de prueba de opacidad
Ruido	Tránsito de maquinaria, cargue y beneficio.	Trabajo en horarios permitidos.	Confirmar que no existan actividades ruidosas fuera del horario autorizado.	Diario	Registro de operaciones
		Uso de EPP.	Verificar uso de protectores auditivos en zonas ruidosas.	Diario	Lista de chequeo SST



8.3.4. Gestión de la biodiversidad y servicios ecosistémicos

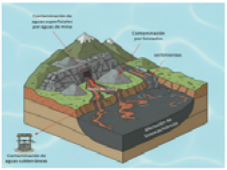
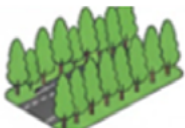
La biodiversidad y los servicios ecosistémicos constituyen componentes fundamentales para el equilibrio ambiental y la sostenibilidad de los territorios donde se desarrollan proyectos mineros. En las operaciones de minería de carbón metalúrgico, las actividades de exploración, construcción, explotación y cierre pueden generar modificaciones en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas, afectando la cobertura vegetal, la fauna, la conectividad ecológica y los servicios ecosistémicos que estos proporcionan.

Por esta razón, el planeamiento minero debe incorporar criterios orientados a la identificación de los impactos potenciales sobre la biodiversidad y los ecosistemas, con el propósito de definir medidas de prevención, mitigación, restauración y conservación que contribuyan a mantener la integridad ecológica del área de influencia del proyecto.

La **Tabla 8-14** presenta los principales impactos que la minería de carbón puede generar sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, así como ejemplos de medidas de manejo que pueden incorporarse durante el planeamiento minero.

Tabla 8-14

Principales impactos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y medidas de manejo ambiental en minería de carbón metalúrgico

Actividades que la causa	Impacto y/o fuente		Buenas prácticas ambientales	
Apertura de frentes de explotación, botaderos y vías de acceso		Pérdida y fragmentación de ecosistemas terrestres, humedales y zonas de transición (páramos, bosques altoandinos)		Incorporar el análisis de sensibilidad ecológica en el planeamiento para evitar ecosistemas estratégicos y áreas de alto valor de conservación
Emisión de ruido, polvo y vibraciones por operación minera		Deterioro de la calidad del hábitat		Definir corredores de conectividad y franjas de protección con vegetación nativa desde el diseño del proyecto
Remoción de cobertura vegetal y exposición prolongada de superficies		Reducción de servicios ecosistémicos (regulación hídrica, almacenamiento de carbono, protección del suelo)		Programar el cierre progresivo de tajos y escombreras para reducir tiempos de exposición
Ocupación permanente de áreas naturales		Pérdida de hábitat y conectividad ecológica		Implementar medidas de compensación mediante conservación de áreas equivalentes o superiores en valor ecológico, conforme a la normativa vigente
Intervención directa o indirecta sobre ecosistemas sensibles		Afectación de humedales y áreas de recarga		Programas de restauración ecológica priorizando humedales, áreas de recarga y bosques protectores



La identificación de los impactos sobre la biodiversidad permite establecer medidas de manejo ambiental orientadas a conservar los ecosistemas estratégicos, minimizar la pérdida de cobertura vegetal, reducir la fragmentación de hábitats y fortalecer los procesos de restauración ecológica durante las diferentes etapas del proyecto minero.

Planeación del seguimiento y monitoreo de la biodiversidad

El seguimiento y monitoreo ambiental constituyen herramientas esenciales para evaluar la eficacia de las medidas implementadas y verificar la evolución de las condiciones ecológicas del área intervenida. Para ello, el planeamiento minero debe contemplar indicadores asociados a la cobertura vegetal, la conectividad ecológica, los procesos de restauración y, cuando aplique, el comportamiento de especies de interés para la conservación.

La **Figura 8-12** presenta un ejemplo de planificación del seguimiento y monitoreo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, como herramienta de apoyo para la estructuración de estos mecanismos desde la etapa de planeamiento minero.

La planificación del seguimiento y monitoreo permite definir los componentes ambientales objeto de evaluación, los indicadores de desempeño, la frecuencia de monitoreo y los registros necesarios para verificar la efectividad de las medidas de manejo ambiental. Esta información constituye un insumo para la toma de decisiones y el mejoramiento continuo de la gestión ambiental del proyecto.

8.3.5. Planeamiento de las áreas de beneficio y transformación del carbón metalúrgico

Desde el punto de vista ambiental, estas actividades deben desarrollarse bajo los lineamientos establecidos en el Decreto 1076 de 2015, que regula

Figura 8-12

Ejemplo de planificación del seguimiento y monitoreo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos

MEDIDAS DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO PROPUESTAS	
MONITOREO INTEGRAL DE CALIDAD DEL AGUA  Evaluar pH, conductividad, sulfatos, hierro, manganeso, SST y turbidez en puntos aguas arriba y aguas abajo del proyecto.	INSPECCIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO  Verificar el estado y funcionamiento de humedales artificiales y sistemas de tratamiento pasivo.
SEGUIMIENTO A SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y TURBIDEZ  Controlar concentraciones de SST y turbidez en descargas y cuerpos receptores asociados a la operación.	SEGUIMIENTO A PROCESOS DE RESTAURACIÓN  Evaluar el avance y la efectividad de las acciones de restauración y estabilización ambiental
MEDICIÓN DE CAUDALES Y CONTROL HIDROGEOLÓGICO  Evaluar cambios en la profundidad del cauce y la estabilidad de orillas asociados a la extracción.	VERIFICACIÓN OPERATIVA Y MANTENIMIENTO AMBIENTAL  Realizar control operativo mediante inspecciones y mantenimiento de las medidas implementadas.



la gestión ambiental de las actividades productivas y establece la obligación de prevenir, controlar y mitigar los impactos derivados del manejo de materiales, aguas de escorrentía, emisiones atmosféricas y ocupación del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Asimismo, las condiciones de seguridad aplicables al manejo del mineral, estabilidad de acopios, control de material particulado y organización de áreas de trabajo deben ajustarse a lo dispuesto en el Decreto 1886 de 2015, mediante el cual se adopta el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas, el cual establece disposiciones orientadas a proteger la vida, la salud de los trabajadores y las condiciones técnicas de operación (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

Durante el planeamiento minero, verifique si el proyecto contempla actividades de beneficio y transformación del carbón y, de ser así, defina su ubicación considerando criterios técnicos, ambientales y de seguridad.

Definición de áreas de beneficio y transformación

La definición de las áreas destinadas al beneficio y transformación del mineral constituye un componente fundamental del planeamiento minero, debido a que su localización, dimensionamiento y forma de operación dependen directamente del diseño de la explotación y de las características del proceso productivo.

La planificación de estas áreas debe considerar criterios técnicos, ambientales y de seguridad minera, con el propósito de optimizar el flujo del mineral, minimizar los riesgos operacionales, prevenir impactos sobre los recursos naturales y garantizar el cumplimiento de la normatividad vigente. Asimismo, su ubicación debe facilitar la implementación de medidas para el manejo de materiales, residuos, aguas de proceso y emisiones generadas durante las actividades de beneficio y transformación.

La **Figura 8-13** presenta un conjunto de buenas prácticas que pueden incorporarse durante el planeamiento de las áreas de beneficio y transformación del mineral, con el fin de fortalecer la eficiencia operativa y el desempeño ambiental del proyecto minero.

Figura 8-13

Buenas prácticas para el beneficio y transformación del mineral

BUENAS PRÁCTICAS RECOMENDADAS para el planeamiento de las áreas de beneficio y transformación del carbón	
	Definir medidas para el control de polvo, como la humectación en puntos críticos.
	Reducir reprocesos mediante una adecuada programación operativa.
	Reducir reprocesos mediante una adecuada programación operativa.
	Prever sistemas de sedimentación natural para el control de sólidos.
	Minimizar la trituración innecesaria para evitar generación de finos.



Las buenas prácticas ilustradas orientan la planificación de las áreas de beneficio y transformación mediante criterios relacionados con la distribución de las instalaciones, el control de emisiones, el manejo de aguas y residuos, la seguridad operacional y la protección del entorno. Su incorporación desde la etapa de planeamiento facilita la integración de los componentes técnicos y ambientales del proyecto y contribuye al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad de la operación minera.



Figura 8-14

Donde no se deben ubicar las instalaciones de beneficio y transformación



Una vez definida la ubicación preliminar del área de beneficio y transformación, se deberá verificar la compatibilidad del área con el uso del suelo permitido, considerando su adecuada distancia respecto a asentamientos humanos, la prevención de posibles afectaciones por ruido, polvo o tránsito, y garantizando una accesibilidad que no interfiera con la infraestructura comunitaria existente.

Impactos ambientales asociados al beneficio y transformación del carbón metalúrgico

Las actividades de clasificación, manejo, acopio y acondicionamiento del carbón pueden generar impactos ambientales si durante el planeamiento minero no se incorporan criterios técnicos y de control, entre los cuales se destacan los relacionados en la **Figura 8-15**.



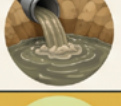
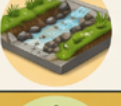
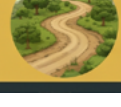
Por ello, las actividades el beneficio del carbón debe concebirse como una operación de adecuación física planificada, incorporada desde el planeamiento minero y articulada con los instrumentos de planificación territorial, manejo ambiental y de seguridad minera aplicables.

En la siguiente figura se plantea un ejemplo de las buenas prácticas aplicables en el proceso de beneficio y transformación del carbón.



Figura 8-15

Ejemplo de buenas prácticas en las actividades de beneficio y transformación.

BUENAS PRÁCTICAS PARA EL PLANEAMIENTO DEL BENEFICIO DEL CARBÓN		
ACTIVIDAD DEL BENEFICIO	IMPACTO POTENCIAL	BUENAS PRÁCTICAS DE PLANEAMIENTO
 CLASIFICACIÓN	 IMPACTO POTENCIAL Generación de finos.	 DEFINIR manejo selectivo y equipos adecuados.
 MANIPULACIÓN	 IMPACTO POTENCIAL Emisión de polvo.	 PREVER medidas de humectación y control en puntos críticos.
 ACOPIO	 IMPACTO POTENCIAL Inestabilidad y erosión.	 DEFINIR criterios para la conformación técnica de pilas.
 MANEJO DE AGUAS	 IMPACTO POTENCIAL Arrastre de sólidos.	 DISEÑAR sistemas de drenaje y sedimentación.
 TRANSPORTE INTERNO	 IMPACTO POTENCIAL Arrastre de material a cuerpos de agua.	 DEFINIR las vías internas y su mantenimiento.

Las buenas prácticas propuestas orientan la implementación de medidas para el control de emisiones de material particulado, el manejo de aguas de proceso, la gestión de residuos, el control del ruido, el almacenamiento del carbón y la organización de las áreas operativas. Su incorporación desde la etapa de planeamiento contribuye a mejorar el desempeño ambiental de la operación, optimizar los procesos de beneficio y reducir los riesgos asociados a esta fase del proyecto minero.

El beneficio y la transformación del carbón deben concebirse como procesos integrados al planeamiento minero, en los cuales las decisiones relacionadas con la ubicación de las instalaciones, el diseño de las áreas operativas y la implementación de medidas de manejo ambiental se articulen con los instrumentos de ordenamiento territorial, los permisos ambientales y los requisitos de seguridad minera. Esta integración favorece una operación más eficiente, reduce los impactos ambientales y



fortalece la sostenibilidad del proyecto a lo largo de su ciclo de vida.

8.3.6. Gestión social integrada al planeamiento minero

La gestión social constituye un componente estratégico del planeamiento minero, ya que permite integrar las condiciones sociales del territorio en la toma de decisiones relacionadas con el diseño, desarrollo y operación del proyecto. Su incorporación desde las etapas iniciales favorece la construcción de relaciones de confianza con las comunidades, la identificación de oportunidades y riesgos sociales, y la prevención de conflictos que puedan afectar la viabilidad y sostenibilidad de la actividad minera.

En este contexto, el planeamiento de la mina no responde únicamente a criterios técnicos, económicos y ambientales, sino que también debe considerar las dinámicas sociales del área de influencia, las expectativas de los grupos de interés y los mecanismos de participación y diálogo establecidos con las comunidades y las autoridades locales. Estos aspectos pueden influir en la definición del tamaño de la operación, la secuencia de explotación, la programación de las actividades y la implementación de las medidas de manejo social.

La **Figura 8-16** presenta los principales componentes que deben incorporarse en la gestión social durante el proceso de planeamiento minero, con el propósito de fortalecer la articulación entre el proyecto y su entorno social.



Figura 8-16

Guía para una gestión social responsable



La gestión social integrada al planeamiento minero comprende la identificación de los grupos de interés, el análisis del contexto social, la participación de las comunidades, la comunicación permanente, la gestión de peticiones, quejas, reclamos y sugerencias (PQRS), el seguimiento a los compromisos adquiridos y el monitoreo de los impactos sociales. La articulación de estos componentes facilita la toma de decisiones, fortalece el relacionamiento con los actores del territorio y contribuye a la sostenibilidad del proyecto minero.



¿Cómo la comunidad y lo que rodea al proyecto minero puede cambiar el plan de la mina?

Al momento de realizar el planeamiento minero es importante hacerse las siguientes preguntas:

- ¿Hay viviendas, escuelas, vías o acueductos cerca del yacimiento?
- ¿Existen zonas de uso comunitario que no se pueden intervenir?
- ¿Se deben cumplir acuerdos con la comunidad antes de avanzar?
- ¿Hay conflictos o desacuerdos que obligan a trabajar más despacio?

Cuando ocurre alguna de estas situaciones es posible que:

- Algunas zonas no se pueden explotar.
- Otras zonas se deben explotar en otro orden.
- El trabajo puede tardar más tiempo.
- El proyecto puede necesitar más inversión.

La **Tabla 8-15** presenta ejemplos de aplicación para la estimación del factor modificador social, con el propósito de ilustrar su utilización durante el proceso de planeamiento minero y facilitar su incorporación en la toma de decisiones.

Tabla 8-15

Ejemplos prácticos para el cálculo del factor modificar social

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 ● Realizar obras sociales o apoyar un proceso de reasentamiento. ● Esto cuesta dinero y toma tiempo.	Aumentan los costos y cambian los tiempos del proyecto.



8.3.7. Cierre y poscierre desde la etapa de planeamiento

El cierre minero debe incorporarse desde la etapa de planeamiento del proyecto, como parte fundamental de su desarrollo. A continuación, en la Figura 817, se presenta una lista de chequeo con las principales acciones que el minero debe considerar, de acuerdo con la fase en la que se encuentre.

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.	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.	ETAPA DE POSTCIERRE ✓ Monitoreo ambiental. ✓ Verificar estabilidad. ✓ Mantenimiento de obras.

8.4. Demás consideraciones ambientales

Además de las medidas de manejo ambiental, es necesario considerar aspectos administrativos y normativos que garanticen el cumplimiento de la legislación ambiental vigente. Estas acciones complementan el proceso de licenciamiento y fortalecen la planificación, control y seguimiento del proyecto minero en todas sus etapas, constituyéndose en una buena práctica desde el planeamiento minero al integrar los requisitos ambientales desde la fase inicial del proyecto.

8.4.1. Permisos menores

Los permisos menores hacen parte integral del proceso de licenciamiento ambiental y corresponden a autorizaciones específicas requeridas para el desarrollo de ciertas actividades del proyecto minero. Su presentación y trámite se articulan con las fases de la licencia ambiental, ya sea temporal o definitiva, asegurando que las intervenciones se realicen conforme a los requisitos técnicos y legales establecidos por la autoridad ambiental, tal como se ilustra en la **Figura 8-18**.



Figura 8-18

Definir la presentación de permisos menores.



El desarrollo de un proyecto minero puede requerir la obtención de diferentes permisos ambientales, dependiendo de las actividades previstas, las características del área de influencia y el uso de los recursos naturales. La identificación temprana de estos instrumentos durante el planeamiento minero facilita la programación de los trámites ambientales y reduce el riesgo de retrasos durante la ejecución del proyecto.

Tabla 8-16

Permisos menores asociados al planeamiento minero

Permiso ambiental	Principal fundamento normativo	¿Cuándo puede requerirse?	Ejemplos de aplicación
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.	- Captación de agua de una quebrada mediante motobomba para actividades de beneficio. - Captación de agua superficial para el control de emisiones de material particulado en vías internas. - Construcción de obras para almacenamiento temporal de agua superficial destinada a la operación minera.
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 de 2015, art. 2.2.3.2.12.1. • Código Nacional de Recursos Naturales (Decreto 2811 de 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 <u>culverts</u> 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 de 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 de 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 de 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.

Nota. Los permisos ambientales aplicables dependerán de las características del proyecto, las actividades previstas, el área de influencia y las condiciones definidas por la autoridad ambiental competente. La presente tabla tiene carácter orientador y no sustituye la evaluación técnica ni los requisitos establecidos en la normativa ambiental vigente.

La identificación de los permisos ambientales desde la etapa de planeamiento permite integrar oportunamente los requisitos legales al diseño del proyecto minero. Esta planificación facilita la articulación entre los componentes técnicos, ambientales y administrativos, contribuyendo al cumplimiento normativo y a la ejecución ordenada de las actividades mineras.

8.4.2. Repositorios y herramientas ambientales para la planificación minera

La planificación ambiental de los proyectos mineros requiere el acceso a instrumentos normativos, documentos técnicos y herramientas de consulta

que orienten la formulación de los estudios ambientales, el cumplimiento de los requisitos legales y la incorporación de buenas prácticas durante las diferentes etapas del proyecto.

Estos recursos constituyen una fuente de apoyo para la identificación de obligaciones ambientales, la elaboración de los instrumentos técnicos y la toma de decisiones durante el proceso de planeamiento minero.

La **Tabla 8-17** presenta algunos de los principales instrumentos normativos y documentos técnicos que pueden consultarse para apoyar la planificación ambiental de proyectos de pequeña minería de carbón metalúrgico.



Tabla 8-17

Principales instrumentos y herramientas de consulta para el planeamiento ambiental minero

Documento	Aplicación en el planeamiento minero
Resolución 1830 de 2024. Términos de referencia para la Licencia Ambiental Temporal.	Orienta la elaboración de los estudios requeridos para proyectos sujetos a licencia ambiental temporal.
Resolución 2206 de 2016. Términos de referencia para la Licencia Ambiental Global.	Define el contenido mínimo de los estudios ambientales requeridos para proyectos sujetos a licencia ambiental global.
Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Compila la normativa ambiental aplicable a los permisos, concesiones, autorizaciones y licencias ambientales.
Guías Minero-Ambientales.	Presentan criterios técnicos y buenas prácticas para la gestión ambiental de las actividades mineras.
Términos de referencia para la elaboración del Plan de Gestión Social.	Orientan la formulación de las estrategias de relacionamiento y manejo social del proyecto.
Resolución 1256 de 2021.	Reglamenta el uso de aguas residuales tratadas y establece criterios para su aprovechamiento.
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.	Define los lineamientos para la protección, conservación y uso sostenible del recurso hídrico.
Listado de Impactos Ambientales Específicos (2021).	Facilita la identificación y evaluación de los impactos ambientales asociados a los proyectos.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Agencia Nacional de Minería (ANM), el Departamento Administrativo de la Función Pública y demás entidades competentes. Se recomienda verificar siempre la versión vigente de cada instrumento.

Los documentos e instrumentos presentados constituyen herramientas de consulta para fortalecer el planeamiento ambiental del proyecto minero. Su utilización facilita la identificación de los requisitos técnicos y legales aplicables, la formulación de los instrumentos ambientales y la adopción de medidas orientadas a la prevención y manejo de los 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 carbón metalúrgico, 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 carbón. 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 un componente fundamental del planeamiento financiero de una operación de minería de carbón metalúrgico, ya que permite estimar los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto y evaluar su viabilidad económica antes del inicio de la explotación. Asimismo, proporciona información para la elaboración de presupuestos, la programación de inversiones y la toma de decisiones durante las diferentes etapas del ciclo minero.

Durante el proceso de planeamiento es necesario identificar los costos asociados al proyecto y clasificarlos de acuerdo con su naturaleza y finalidad. Esta clasificación comprende tanto los costos directos, vinculados directamente con las actividades de producción, como los costos indirectos, relacionados con procesos de apoyo, administración, seguridad y salud en el trabajo, gestión ambiental y demás actividades necesarias para el funcionamiento de la operación.

La adecuada identificación de estos costos facilita el cálculo del costo de producción, la estimación de los flujos de caja y el análisis de diferentes escenarios financieros, constituyéndose en un insumo para la evaluación de la rentabilidad y la sostenibilidad económica del proyecto minero.

Como parte del proceso de planificación financiera, resulta necesario diferenciar las inversiones de capital (CAPEX) de los costos operacionales (OPEX), ya que ambos conceptos representan componentes financieros con objetivos y comportamientos diferentes durante la vida útil del proyecto.

9.1.1. CAPEX (Capital Expenditure)

El CAPEX (Capital Expenditure) corresponde a las inversiones de capital requeridas para desarrollar, poner en marcha y mantener la capacidad productiva de una operación de minería de carbón metalúrgico. Estas inversiones se realizan principalmente durante las etapas iniciales del proyecto, aunque también pueden presentarse durante la operación cuando se requiere ampliar o modernizar la infraestructura existente.

En la pequeña minería de carbón metalúrgico, el CAPEX comprende la adquisición de maquinaria y equipos, sistemas de ventilación, infraestructura eléctrica, obras civiles, desarrollo de labores mineras y demás activos necesarios para garantizar una operación segura, eficiente y conforme con los requisitos técnicos, ambientales y de seguridad minera.

La estimación del CAPEX permite definir las necesidades de inversión, programar su ejecución y evaluar alternativas de desarrollo acordes con la capacidad financiera del proyecto. Asimismo, facilita la priorización de las inversiones considerando aspectos relacionados con la seguridad minera, el cumplimiento de la normativa ambiental, la continuidad operacional y el logro de las metas de producción. Desde el punto de vista contable, estas inversiones se reconocen como activos y su costo se distribuye durante su vida útil mediante procesos de depreciación o amortización, según corresponda.

La **Figura 9-1** presenta ejemplos de las principales inversiones de capital requeridas en una operación de pequeña minería de carbón metalúrgico.



Figura 9-1

Inversiones y activos a largo plazo



Desde las primeras etapas del proyecto es importante considerar las inversiones necesarias para cumplir con los requisitos ambientales, de seguridad y demás obligaciones aplicables a la actividad minera, ya que no contemplarlas desde el inicio puede afectar el desarrollo y la sostenibilidad de la operación. Antes de invertir en maquinaria, infraestructura o desarrollo minero, conviene analizar la capacidad de producción proyectada, la disponibilidad de recursos, el nivel de endeudamiento y el impacto sobre el flujo de caja, con el fin de priorizar aquellas inversiones que aporten mayores beneficios para la operación, mejoren la productividad y contribuyan a su sostenibilidad en el tiempo.

9.1.2. OPEX (Operational Expenditure)

El OPEX (Operational Expenditure) corresponde a los costos y gastos necesarios para el funcionamiento continuo de una operación de minería de carbón metalúrgico. A diferencia del CAPEX, estos costos se generan de manera recurrente durante la vida útil del proyecto e incluyen, entre otros, la mano de obra, el consumo de combustible y energía, los explosivos, los materiales de sostenimiento, el mantenimiento de equipos, el transporte interno, la gestión ambiental y los demás costos asociados al proceso productivo.



La estimación del OPEX constituye un insumo fundamental para el planeamiento financiero de la operación, ya que permite proyectar los costos de producción, elaborar presupuestos, estimar el flujo de caja y evaluar la rentabilidad esperada del proyecto. Para ello, es recomendable considerar los costos operativos de acuerdo con las metas de producción e incorporar los gastos asociados a la gestión ambiental, la seguridad minera y las provisiones para el cierre de mina.

La **Figura 9-2** presenta los principales componentes del OPEX en operaciones de minería de carbón metalúrgico, los cuales deben considerarse durante la planificación económica del proyecto.

Los costos operacionales comprenden aquellos recursos necesarios para garantizar la continuidad de la producción durante toda la vida útil de la mina. Su adecuada estimación permite identificar los componentes de mayor incidencia en los costos de operación y facilita la programación de los recursos financieros requeridos para el desarrollo del proyecto.

El seguimiento periódico al OPEX permite comparar los gastos proyectados con los realmente ejecutados y evaluar indicadores como el costo por tonelada producida, el consumo de combustible, las horas de operación de los equipos, el mantenimiento y la mano de obra. Este análisis facilita

Figura 9-2

Principales costos y gastos en operaciones de minería de carbón metalúrgico



identificar desviaciones, controlar los gastos y realizar los ajustes necesarios durante la operación. En conjunto con el CAPEX, el OPEX proporciona una visión más completa de las necesidades de inversión y de los recursos requeridos para mantener la mina en funcionamiento.

La **Figura 9-3** presenta las principales diferencias entre ambos conceptos.

Figura 9-3
Comparación entre CAPEX y OPEX



CARACTERÍSTICA	 CAPEX	 OPEX
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

La comparación entre el CAPEX y el OPEX permite comprender que ambos componentes cumplen funciones complementarias dentro del planeamiento financiero de un proyecto minero. Mientras el CAPEX concentra las inversiones necesarias para desarrollar y mantener la capacidad productiva de la operación, el OPEX agrupa los costos recurrentes asociados con su funcionamiento. La evaluación conjunta de estos conceptos facilita la elaboración de presupuestos, la estimación del flujo de caja y el análisis de la rentabilidad del proyecto durante su vida útil.

La adecuada gestión del CAPEX y del OPEX contribuye a optimizar la asignación de recursos, evaluar alternativas de inversión —como la adquisición o el alquiler de equipos— y planificar las necesidades financieras de la operación. Como parte del análisis del OPEX, resulta conveniente diferenciar los costos fijos, variables y mixtos, ya que esta clasificación facilita el control de los gastos, el seguimiento financiero y la toma de decisiones durante el planeamiento minero.



9.1.3. Costos fijos

Los costos fijos corresponden a aquellos gastos que permanecen relativamente constantes durante un periodo determinado, independientemente del nivel de producción de la operación. En la pequeña minería de carbón metalúrgico incluyen, entre otros, los salarios del personal administrativo y de supervisión, los arrendamientos, las licencias, los seguros y algunos mantenimientos programados.

La identificación de estos costos permite estimar el gasto mínimo requerido para mantener la operación en funcionamiento, elaborar presupuestos más precisos y evaluar la incidencia de las variaciones en la producción sobre el costo unitario del mineral. Su actualización periódica contribuye a que los presupuestos reflejen las condiciones reales de la operación y apoyen una adecuada planificación financiera.

9.1.4. Costo variable

Los costos variables corresponden a los gastos que se modifican en función del nivel de producción. Entre los principales se encuentran el consumo de combustible, la energía utilizada por los equipos y los sistemas de ventilación, los explosivos, los insumos de sostenimiento, el transporte asociado a la producción y la mano de obra directamente vinculada con las actividades de extracción.

La estimación de estos costos permite proyectar el costo de producción bajo diferentes escenarios operacionales y evaluar el efecto de las variaciones en los niveles de producción sobre la rentabilidad del proyecto. Su actualización periódica, de acuerdo con las metas de producción y el comportamiento de los precios de los insumos, favorece la elaboración de presupuestos ajustados a las condiciones reales de la mina.

9.1.5. Costos mixtos

Los costos mixtos corresponden a aquellos gastos que integran un componente fijo y otro variable, por lo que su comportamiento depende tanto de la operación básica de la mina como del nivel de producción alcanzado.

En la pequeña minería de carbón metalúrgico este tipo de costos suele presentarse en servicios como la energía eléctrica, que incorpora un cargo fijo y un consumo variable; el mantenimiento de equipos, cuyos costos aumentan con la utilización; y algunos esquemas de remuneración que combinan un salario base con incentivos asociados a la producción.

La identificación y separación de los componentes fijo y variable permite estimar con mayor precisión el OPEX, proyectar el costo de producción en distintos escenarios y fortalecer el control financiero de la operación, proporcionando información útil para la planificación y la toma de decisiones.

La **Figura 9-4** presenta de manera comparativa las principales características de los costos fijos, variables y mixtos, facilitando la comprensión de su comportamiento dentro de la estructura de costos de una operación de minería de carbón metalúrgico.

Figura 9-4

Comparación entre costos fijos, variables y mixtos



La correcta clasificación de los costos fijos, variables y mixtos permite conocer con mayor precisión cuánto cuesta producir una tonelada de carbón 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.

9.1.6. Diferencias y semejanzas entre el costo directo e indirecto

Los costos directos y los costos indirectos constituyen componentes del OPEX y permiten determinar con mayor precisión el costo de producción de una operación de minería de carbón metalúrgico. Su adecuada identificación facilita la planificación financiera, la elaboración de presupuestos y el análisis de la rentabilidad del proyecto.

Resumen tipos de costos

Los costos directos corresponden a aquellos que pueden asociarse de manera inmediata con las actividades de extracción, sostenimiento, beneficio y procesamiento del mineral. Por su parte, los costos indirectos están relacionados con las actividades de apoyo necesarias para el funcionamiento de la operación, como la administración, la seguridad y salud en el trabajo, la gestión ambiental, la supervisión y otros servicios que, aunque no intervienen directamente en la producción, resultan indispensables para el desarrollo de la actividad minera.

La diferenciación entre estos tipos de costos permite calcular con mayor precisión el costo por tonelada producida, estimar los recursos requeridos para la operación y mejorar el control financiero del proyecto. Asimismo, constituye una herramienta para evaluar la eficiencia operacional y apoyar la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

La **Tabla 9-1** presenta una comparación entre los principales tipos de costos utilizados en el planeamiento financiero de una operación de minería de carbón metalúrgico, incluyendo su definición, características generales, ejemplos de aplicación y su incidencia en la gestión económica del proyecto.

Tabla 9-1

Tipo de costo	Definición	Ejemplos en minería de carbón	Impacto principal
Costo directo	Costos que se pueden asociar directamente a la producción de carbón.	Sueldos de mineros que trabajan en extracción.	Afecta el margen bruto
Costo indirecto	Costos que no se pueden asignar directamente a una unidad de producción, pero son necesarios para operar.	Mantenimiento de maquinaria general o administración.	Afecta el margen operativo
Costo fijo	Costos que permanecen constantes independientemente de la producción.	Alquiler de la planta de procesamiento de carbón.	Aumenta el costo unitario si baja la producción
Costo variable	Costos que cambian según el nivel de producción.	Combustible usado por camiones según toneladas extraídas	Escala con la producción
Costo mixto	Tiene parte fija y parte variable	Servicio de energía eléctrica: pago base + consumo según horas de operación.	Requiere análisis detallado para proyecciones



La clasificación de los costos según su comportamiento y su relación con el proceso productivo permite comprender cómo se estructura el costo total de la operación minera. Esta información facilita la elaboración de presupuestos, el seguimiento de los gastos, la evaluación de escenarios financieros y la identificación de oportunidades para optimizar el uso de los recursos durante el desarrollo del proyecto.

9.1.7. Recomendaciones para la identificación de costos directos e indirectos

La adecuada identificación y clasificación de los costos constituye un elemento fundamental para el planeamiento financiero de una operación de minería de carbón metalúrgico. Este proceso permite estimar con mayor precisión la rentabilidad del proyecto, elaborar presupuestos acordes con las necesidades de la operación y evaluar la viabilidad económica de las diferentes alternativas de desarrollo.

Además de conocer el precio de venta del mineral, resulta necesario estimar el costo de producción por tonelada e identificar los recursos financieros requeridos durante las distintas etapas de la vida útil de la mina. Para ello, es recomendable implementar mecanismos de seguimiento y control que permitan comparar los costos presupuestados con los costos ejecutados, identificar desviaciones y adoptar las acciones de ajuste necesarias para optimizar la planificación financiera y operativa del proyecto.

La aplicación de estas recomendaciones contribuye a mejorar la confiabilidad de las estimaciones financieras y facilita el control de los costos a lo largo del desarrollo del proyecto. Un sistema de seguimiento que integre la actualización periódica de la información, el análisis de las desviaciones y la revisión de los presupuestos permite fortalecer la toma de decisiones y optimizar la utilización de los recursos disponibles.

La **Figura 9-5** presenta algunas recomendaciones orientadas a fortalecer la identificación, clasificación y seguimiento de los costos directos e indirectos durante el planeamiento financiero de una operación de minería de carbón metalúrgico.

Figura 9-5

Recomendaciones de gestión de costos indirectos y directos

RECOMENDACIONES PARA IDENTIFICAR COSTOS EN LA PEQUEÑA MINERÍA DE CARBÓN



- **DIFERENCIAR CLARAMENTE ENTRE INVERSIÓN Y GASTO.**
- **IDENTIFICAR COSTOS DIRECTAMENTE LIGADOS A PRODUCCIÓN (COMBUSTIBLE, EXPLOSIVOS, TRANSPORTE INTERNO, 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.**



9.2. Control de gastos y recursos

El control de los gastos y los recursos permite verificar si una operación de carbón metalúrgico se está desarrollando de acuerdo con lo planeado e identificar oportunamente cambios que puedan afectar su rentabilidad. Para ello, es importante realizar un seguimiento periódico a los estados financieros y a indicadores como los márgenes de rentabilidad, el flujo de caja y el capital de trabajo, ya que estos ayudan a conocer la situación económica de la operación, controlar los gastos y respaldar la toma de decisiones durante las diferentes etapas del plan de minado.

9.2.1. Estados financieros

Los estados financieros permiten conocer la situación económica de una operación de carbón metalúrgico y evaluar si los ingresos obtenidos son suficientes para cubrir los costos, cumplir las obligaciones y mantener la operación en funcionamiento. A partir de la información sobre ingresos, costos, activos, pasivos y flujo de recursos, es posible analizar la liquidez de la mina, su capacidad para atender los compromisos financieros y la disponibilidad de recursos para continuar con las actividades productivas. Su revisión periódica facilita comparar los resultados obtenidos con los presupuestos y las metas definidas para la operación, identificar desviaciones y apoyar la toma de decisiones relacionadas con la producción, las inversiones y el control de los gastos. A continuación, se presentan los principales estados financieros utilizados para evaluar el desempeño económico de una operación minera.

9.2.1.1. Estado de Situación Financiera (Balance General)

El Estado de Situación Financiera, también denominado Balance General, es un estado financiero que presenta la situación económica de una operación de minería de carbón metalúrgico en una fecha determinada. Este documento resume los activos, los pasivos y el patrimonio, proporcionando información sobre los recursos disponibles, las obligaciones financieras y la participación de los propietarios en la operación.

Los activos comprenden los bienes y derechos de la empresa, tales como el efectivo, la maquinaria, los equipos, la infraestructura, los inventarios y las cuentas por cobrar. Los pasivos corresponden a las obligaciones adquiridas con terceros, incluyendo créditos, proveedores y otras cuentas por pagar. El patrimonio representa los recursos propios de la operación y resulta de la diferencia entre los activos y los pasivos.

El análisis del Estado de Situación Financiera permite evaluar la capacidad económica del proyecto, su nivel de endeudamiento, la disponibilidad de recursos para atender las necesidades operacionales y la posibilidad de realizar nuevas inversiones. Asimismo, constituye un insumo para la planificación financiera, la gestión del riesgo y la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo de la operación minera.

La **Figura 9-6** presenta la estructura básica del Estado de Situación Financiera y los principales elementos que lo conforman en una operación de minería de carbón metalúrgico.



Figura 9-6

Ejemplo de Balance General

ESTADO DE SITUACIÓN FINANCIERA A 31 de diciembre de 2025 y 2024 (Cifras en miles de pesos colombianos – COP)							
ACTIVO		NOTA		PASIVO			
Activo corriente				Pasivo corriente			
Concepto	Nota	2025	2024	Concepto	Nota	2025	2024
Efectivo y equivalentes al efectivo	6	3.250.000	2.980.000	Cuentas por pagar comerciales	15	1.380.000	1.120.000
Otros activos financieros	6	1.420.000	1.180.000	Otras cuentas por pagar	16	640.000	590.000
Cuentas por cobrar comerciales	7	890.000	760.000	Otros pasivos financieros	17	820.000	760.000
Otras cuentas por cobrar	8	540.000	495.000	Pasivos por arrendamientos	18	310.000	295.000
Inventarios (mineral, insumos, repuestos)	9	1.130.000	1.050.000	Beneficios a los empleados	19	265.000	240.000
Gastos pagados por anticipado	10	185.000	160.000	Provisión ambiental (corriente)	20	180.000	165.000
Total activo corriente		7.415.000	6.625.000	Total pasivo corriente		3.595.000	3.170.000
Activo no corriente				Pasivo no corriente			
Otras cuentas por cobrar	8	210.000	190.000	Otras cuentas por pagar LP	16	90.000	110.000
Inversiones en asociadas	11	480.000	450.000	Otros pasivos financieros LP	17	1.950.000	1.720.000
Gastos pagados por anticipado LP	10	120.000	135.000	Pasivos por arrendamientos LP	18	540.000	600.000
Propiedades, planta y equipo (minería)	12	6.950.000	6.420.000	Provisión ambiental LP	20	1.120.000	980.000
Activos por derecho de uso	13	420.000	460.000	Pasivo por impuestos diferidos	22	420.000	395.000
Activos intangibles (licencias, software)	14	780.000	720.000	Total pasivo no corriente		4.120.000	3.805.000
Total activo no corriente		8.960.000	8.375.000	Total Pasivo		7.715.000	6.975.000
				PATRIMONIO			
				Capital emitido	23	5.000.000	5.000.000
				Otras reservas de capital	24	1.050.000	900.000
				Resultados acumulados	25	2.610.000	2.125.000
				Total patrimonio		8.660.000	8.025.000
TOTAL ACTIVO		16.375.000	15.000.000	TOTAL PASIVO+PATRIMONIO		16.375.000	15.000.000

El seguimiento periódico del Estado de Situación Financiera permite conocer cómo cambian los activos, los pasivos y el patrimonio de la operación a lo largo del tiempo. Esta información ayuda a identificar cambios en la capacidad económica de la mina, controlar el nivel de endeudamiento y verificar si los recursos disponibles son suficientes para desarrollar las actividades previstas. Además, facilita realizar ajustes oportunos en la administración de los recursos y respaldar las decisiones relacionadas con nuevas inversiones o necesidades de financiación.

9.2.1.2. Estado de Resultados (P&L)

El **Estado de Resultados**, también denominado **Estado de Pérdidas y Ganancias (Profit and Loss – P&L)**, es un estado financiero que presenta el desempeño económico de una operación de minería de carbón metalúrgico durante un periodo determinado. Su propósito es mostrar los ingresos obtenidos por la venta del mineral y los costos y gastos asociados a la operación, permitiendo determinar el resultado económico del ejercicio.

Este estado financiero incluye indicadores como la utilidad bruta, el **EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization)**, el **EBIT (Earnings Before Interest and Taxes)** y la **utilidad neta**, los cuales proporcionan información sobre la rentabilidad operacional y financiera del proyecto.

El análisis del Estado de Resultados permite evaluar el desempeño económico de la operación, comparar los resultados obtenidos con las metas establecidas, identificar variaciones en los ingresos, costos y gastos, y definir acciones orientadas a mejorar la eficiencia financiera. Asimismo, constituye una herramienta para apoyar la planificación de la producción, el control presupuestal y la evaluación de nuevas inversiones.

La **Figura 9-7** presenta la estructura general de un Estado de Resultados y los principales componentes que intervienen en la determinación del resultado económico de una operación de minería de carbón metalúrgico.



Figura 9-7
Estructura general del 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 Estado de Resultados permite identificar cómo los ingresos operacionales se transforman en utilidades mediante la deducción progresiva de los costos, gastos, depreciaciones, amortizaciones, impuestos y demás obligaciones financieras. Su análisis facilita evaluar la capacidad de la operación

para generar rentabilidad, controlar los costos de producción y apoyar la toma de decisiones relacionadas con la sostenibilidad financiera del proyecto.

La **Figura 9-8** presenta recomendaciones para el análisis e interpretación del Estado de Resultados.

Figura 9-8
Recomendaciones para el análisis del Estado de Resultados



9.2.2. Ingresos

Los ingresos corresponden a los recursos obtenidos por la venta del carbón metalúrgico y permiten determinar la capacidad de la operación para cubrir sus costos y generar utilidades. Su valor depende principalmente del volumen de producción, el precio de venta y la calidad del carbón comercializado, factores que influyen directamente en los resultados económicos de la mina. Por esta razón, es importante estimar los ingresos considerando diferentes escenarios de producción y de comportamiento del mercado, de manera que sea posible anticipar cambios en la rentabilidad, planificar las inversiones y tomar decisiones oportunas sobre la producción y la comercialización.

9.2.3. Costos

Los costos corresponden a los gastos necesarios para desarrollar las actividades de extracción, procesamiento y comercialización del carbón metalúrgico. Conocer su comportamiento permite calcular el costo de producción por tonelada, elaborar presupuestos y evaluar cómo las variaciones en los gastos afectan la rentabilidad de la operación. Por ello, es importante actualizar periódicamente la estructura de costos y compararla con los resultados obtenidos, de manera que sea posible identificar diferencias frente a lo previsto, controlar los gastos y tomar decisiones que contribuyan a mejorar la eficiencia y el desempeño económico de la mina.

9.2.4. EBITDA

El EBITDA (utilidad antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones) es un indicador que permite conocer si una operación de carbón metalúrgico está generando recursos suficientes a partir de su actividad principal. Su análisis facilita evaluar la eficiencia de la operación, comparar los resultados obtenidos en diferentes periodos o escenarios de producción y determinar la capacidad de la mina para generar recursos antes de

considerar los gastos financieros, los impuestos y otros efectos contables. El seguimiento periódico de este indicador, junto con las metas definidas para la operación, ayuda a identificar cambios en el desempeño económico y a tomar decisiones que contribuyan a mejorar la productividad y la rentabilidad de la mina.

9.2.5. EBIT o utilidad operativa

El EBIT (utilidad antes de intereses e impuestos) es un indicador que permite conocer la rentabilidad de una operación de carbón metalúrgico después de considerar la depreciación y amortización de los activos utilizados en la producción. A diferencia del EBITDA, el EBIT incorpora el desgaste de la maquinaria, los equipos y la infraestructura, por lo que ofrece una visión más completa del desempeño operativo de la mina y de su capacidad para mantener las inversiones realizadas a lo largo del tiempo. Su análisis facilita comparar los resultados obtenidos entre diferentes periodos, evaluar el efecto de las inversiones sobre la operación y apoyar las decisiones relacionadas con la productividad y el uso de los activos. El seguimiento periódico de este indicador, junto con las metas definidas para la operación, permite identificar cambios en la rentabilidad y realizar los ajustes necesarios para fortalecer el desempeño económico de la mina.

9.2.6 Utilidad neta

La utilidad neta corresponde al resultado económico final de una operación de minería de carbón metalúrgico, obtenido después de descontar de los ingresos todos los costos de producción, los gastos operacionales, las depreciaciones, las amortizaciones, los gastos financieros y los impuestos aplicables.

Este indicador permite evaluar la rentabilidad del proyecto y la capacidad de la operación para generar recursos destinados a la reinversión, la reposición de activos, el cumplimiento de sus obli-



gaciones financieras y el fortalecimiento de su sostenibilidad económica. Asimismo, constituye un insumo para analizar el desempeño financiero de la operación y apoyar la toma de decisiones relacionadas con la producción, el control de costos y la planificación de nuevas inversiones.

El seguimiento periódico de la utilidad neta facilita comparar los resultados obtenidos con las metas establecidas, identificar variaciones en la rentabilidad y definir acciones orientadas a mejorar el desempeño financiero de la operación.

De manera simplificada, la utilidad neta puede expresarse mediante la siguiente relación:

$$\text{UTILIDAD NETA} = \text{INGRESOS} - \text{COSTOS} - \text{GASTOS} - \text{IMPUESTOS}$$

Si el resultado es positivo, la operación obtiene una utilidad o ganancia; si es negativo, registra una pérdida durante el periodo evaluado.

El seguimiento periódico de la utilidad neta facilita comparar los resultados obtenidos con las metas establecidas, identificar variaciones en la rentabilidad y definir acciones orientadas a mejorar el desempeño financiero de la operación.

Consideraciones tributarias

La utilidad neta constituye un insumo relevante para la preparación de los estados financieros y para la determinación de las obligaciones tributarias de la empresa, de conformidad con la normativa contable y fiscal vigente. Por esta razón, resulta fundamental registrar de manera adecuada los ingresos, costos y gastos, garantizando la confiabilidad de la información financiera y el cumplimiento de las obligaciones tributarias aplicables.

9.2.7. Márgenes

Los márgenes financieros permiten conocer qué porcentaje de los ingresos obtenidos por la venta del carbón se convierte en utilidad después de cubrir los diferentes costos y gastos de la operación. Su análisis ayuda a identificar cómo la producción, los costos operativos, los gastos administrativos y las obligaciones financieras afectan la rentabilidad de la mina, facilitando la comparación de resultados entre diferentes periodos y el seguimiento del desempeño económico de la operación.

La **Figura 9-9** muestra el comportamiento descendente de los márgenes de rentabilidad: margen bruto, operativo y neto, a medida que se incorporan progresivamente más costos y obligaciones financieras.

Figura 9-9

Tipos de márgenes de rentabilidad



9.2.7.1. Margen bruto

El margen bruto es un indicador financiero que permite evaluar la rentabilidad de una operación de carbón metalúrgico a partir de la relación entre los ingresos por ventas y los costos directos de producción. Su análisis permite determinar la eficiencia de la actividad extractiva y estimar la capacidad del proyecto para generar recursos antes de considerar los gastos administrativos, financieros y tributarios. Durante la planificación financiera, este indicador facilita la evaluación de diferentes esce-



narios de producción, el seguimiento del comportamiento de los costos directos y la identificación de oportunidades para mejorar la rentabilidad del proyecto. Es recomendable monitorear periódicamente el margen bruto y compararlo con las metas establecidas en el plan minero para apoyar la toma de decisiones y la actualización de las proyecciones financieras.

MARGEN BRUTO = (INGRESOS POR VENTAS – COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN) / INGRESOS POR VENTAS

Por ejemplo, si el precio internacional del carbón aumenta, pero simultáneamente se incrementan los costos de insumos críticos como energía, combustible o mantenimiento de equipos, el margen bruto revela si la rentabilidad se expande gracias a una gestión operativa eficiente o si, por el contrario, la eficiencia productiva se está deteriorando. En esencia, un margen robusto garantiza que la operación pueda absorber incrementos en los costos operativos sin comprometer la sostenibilidad financiera del proyecto frente a una eventual corrección a la baja en los precios del carbón.

9.2.7.2. Margen operativo

El margen operativo permite evaluar la rentabilidad de una operación de minería de carbón metalúrgico después de considerar los costos directos de producción y los gastos operacionales y administrativos, antes de incorporar los gastos financieros y los impuestos. Este indicador refleja la eficiencia económica con la que se desarrolla la actividad minera y constituye una herramienta para analizar el desempeño operacional del proyecto.

Su análisis facilita evaluar el comportamiento de los costos de operación, identificar oportunidades de mejora en la productividad y estimar la capacidad de la operación para generar resultados a partir de su actividad principal. Asimismo, proporciona información para apoyar la planificación financiera y la toma de decisiones relacionadas con la opti-

mización de recursos y la sostenibilidad económica del proyecto.

El margen operativo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Margen neto} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Ingresos por ventas}}$$

Donde:

Utilidad operativa (EBIT) = ingresos por ventas - Costos directos - Gastos operacionales y administrativos

Los gastos operacionales y administrativos comprenden, entre otros, los costos asociados con la administración, la gestión ambiental, la seguridad y salud en el trabajo, el mantenimiento no directamente relacionado con la producción y el cumplimiento de los requisitos normativos. Asimismo, incluyen el efecto de las depreciaciones de los activos utilizados en la operación, derivadas de las inversiones de capital (CAPEX).

En conjunto, el margen operativo proporciona una visión integral de la rentabilidad de la actividad minera, al evidenciar el impacto que tienen los costos de administración, mantenimiento, gestión ambiental y cumplimiento normativo sobre el desempeño económico del proyecto. Por ello, constituye un indicador de apoyo para la evaluación financiera y la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

9.2.7.3. Margen neto

El margen neto refleja la rentabilidad final de una operación de carbón metalúrgico, al considerar la totalidad de los costos de producción, los gastos operacionales, las depreciaciones, los costos financieros y las obligaciones tributarias. Este indicador permite evaluar la capacidad del proyecto para generar utilidades una vez atendidos todos sus compromisos económicos, proporcionando una visión integral de su desempeño financiero. Su análisis



facilita la evaluación de la sostenibilidad económica del proyecto, la capacidad para financiar nuevas inversiones y la identificación de oportunidades para fortalecer la eficiencia financiera y la competitividad de la operación.

Margen neto = Utilidad neta / ingresos por ventas

La utilidad neta incorpora el efecto de los gastos financieros, las depreciaciones y amortizaciones, los impuestos, las regalías y demás obligaciones económicas propias de la actividad minera. En las operaciones de carbón metalúrgico, factores como la carga tributaria, la volatilidad del precio del mineral, el pago de regalías y los costos de financiación pueden incidir de manera significativa en la rentabilidad final del proyecto, aun cuando los resultados operativos sean favorables. En este contexto, los márgenes de rentabilidad presentan un comportamiento decreciente, ya que cada uno incorpora progresivamente un mayor número de costos y obligaciones financieras, proporcionando una visión más completa del desempeño económico de la operación y apoyando la evaluación de su viabilidad durante el planeamiento minero.



9.2.8. Capital de Trabajo y KTNO

El capital de trabajo corresponde a los recursos financieros necesarios para garantizar la continuidad de las operaciones de una mina de carbón metalúrgico y atender las obligaciones de corto plazo derivadas de su funcionamiento. En la evaluación financiera de proyectos mineros, este concepto permite estimar los recursos requeridos para financiar el ciclo operativo de la operación y asegurar la disponibilidad de liquidez durante las diferentes etapas del proyecto.

Dentro de este análisis, el Capital de Trabajo Neto Operativo (KTNO) representa los recursos vinculados directamente con la operación, considerando activos corrientes como el efectivo operativo, las cuentas por cobrar y los inventarios, descontando las obligaciones corrientes asociadas con la actividad productiva.

Durante el planeamiento financiero, la estimación del capital de trabajo constituye un insumo para determinar las necesidades de liquidez desde el inicio del proyecto, garantizar la continuidad de las operaciones y prever los recursos requeridos para atender las obligaciones de corto plazo. Asimismo, en la evaluación económica se incorpora como una inversión inicial que, bajo condiciones normales, se recupera al finalizar la vida útil del proyecto.

La **Figura 9-10** presenta la importancia del capital de trabajo dentro de la planificación financiera y su relación con la continuidad operativa de un proyecto de minería de carbón metalúrgico.



Figura 9-10
Capital de trabajo



El capital de trabajo está estrechamente relacionado con el ciclo operativo, entendido como el periodo transcurrido entre el pago de las obligaciones derivadas de la operación y la recuperación de los recursos mediante la venta del mineral. La adecuada gestión de este ciclo favorece la liquidez, disminuye la necesidad de financiación de corto plazo y mejora la eficiencia en la utilización de los recursos financieros.

En este contexto, el KTNO permite estimar los recursos requeridos para financiar dicho ciclo opera-

tivo, mediante el análisis de las cuentas por cobrar, los inventarios y las obligaciones operativas de corto plazo. Su estimación constituye un insumo para la elaboración del flujo de caja y para la evaluación de indicadores financieros como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

La **Figura 9-11** presenta la estructura general para el cálculo del Capital de Trabajo Neto Operativo (KTNO).

Figura 9-11
KTNO

$$\text{KTNO} = (\text{Cuentas por Cobrar} + \text{Inventarios}) - \text{Cuentas por Pagar}$$



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 carbón, 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 refleja el movimiento real de los recursos financieros que ingresan y salen de una operación de carbón metalúrgico, constituyéndose en un indicador fundamental para evaluar su liquidez. Mientras la utilidad muestra el resultado económico desde el punto de vista contable, el flujo de caja permite determinar la disponibilidad efectiva de recursos para atender las obligaciones operativas, financieras y tributarias. Un flujo de caja positivo facilita el pago oportuno a proveedores, trabajadores y demás compromisos de corto plazo, considerando que los ingresos por ventas no siempre se convierten inmediatamente en efectivo debido a los plazos de recaudo y a los recursos comprometidos en inventarios.

Adicionalmente, el flujo de caja constituye una herramienta esencial para la planificación financiera, ya que permite evaluar la capacidad de la operación para ejecutar nuevas inversiones, atender necesidades de financiamiento y afrontar escenarios de incertidumbre económica. Asimismo, proporciona información para estimar la capacidad de pago frente a entidades financieras e inversionistas, identificar posibles restricciones de liquidez y definir oportunamente estrategias que garanticen la continuidad y sostenibilidad de la operación minera.

Por otra parte, una operación puede presentar indicadores como EBITDA o EBIT positivos y, aun así, experimentar limitaciones de liquidez debido a inversiones significativas en activos, incrementos en el capital de trabajo o el cumplimiento de obligaciones financieras. En este contexto, el flujo de caja libre complementa el análisis financiero al reflejar la disponibilidad real de efectivo después de considerar estos factores, permitiendo evaluar con mayor precisión la capacidad del proyecto para financiar su crecimiento, responder a las necesidades operativas y respaldar la toma de decisiones durante el planeamiento minero.



La **Tabla 9-2** describe la estructura de cálculo del Flujo de Caja Libre (FCL), mostrando la relación entre ingresos operativos, costos, EBITDA, inversiones en CAPEX, variaciones de capital de trabajo y la caja disponible para inversionistas y acreedores.

Tabla 9-2

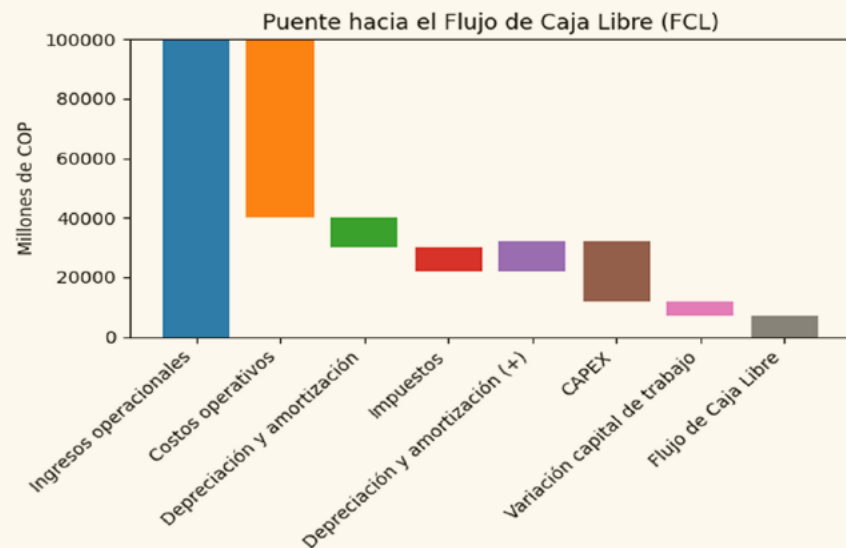
Flujo de caja libre

Concepto	Descripción
Ingresos operacionales	Ventas del proyecto (por ejemplo, venta de carbón)
(-) 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 carbón. 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



9.2.10. Recomendaciones generales para el control de gastos y recursos

En la pequeña minería de carbón metalúrgico, el control de gastos es clave para la sostenibilidad de la operación, por eso la **Figura 9-13** brinda recomendaciones sobre la gestión del control de gastos y recursos como una pieza clave para mejorar y/o mantener la rentabilidad del proyecto minero.

Figura 9-13

Recomendaciones sobre control de gastos y recursos

RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE GASTOS EN MINERÍA DE CARBÓN



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 tonelada.

SEPARAR FINANZAS DEL NEGOCIO

Dividir las finanzas personales de las del negocio y llevar registros claros de ingresos y egresos mejora el control y facilita el acceso a crédito.

ANALIZAR EL COSTO POR TONELADA

Dividir el total de gastos entre la producción para 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 tonelada.

VALORAR ESCENARIOS Y PREVER COSTOS

Evaluar el impacto de precios bajos o mayores costos del carbón permite adaptarse a cambios en el mercado.

MANTENER CAPITAL DE TRABAJO

En minería de carbón, el control de gastos permite conocer mejor la Situación financiera, reducir riesgos y tomar decisiones informadas.

En la minería de carbón metalúrgico, las proyecciones operativas constituyen una herramienta fundamental para la planificación financiera, ya que permiten estimar la producción esperada y evaluar el comportamiento del proyecto bajo diferentes escenarios. La proyección de variables como los volúmenes de extracción, los precios de venta, los tiempos de procesamiento y las condiciones logísticas facilita la estimación de ingresos, costos y requerimientos de recursos, además de anticipar posibles variaciones en la producción y su impacto sobre la rentabilidad y la sostenibilidad económica de la operación.

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 carbón metalúrgico a partir de la información técnica, operativa y financiera disponible. Para su elaboración se integran datos históricos de la operación, como ingresos por ventas, costos de extracción y procesamiento, gastos operativos e inversiones, 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 carbón metalúrgico, como la evolución de los precios del mineral, los volúmenes de producción proyectados, la vida útil del yacimiento, 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 los cambios 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 presentan los principales elementos que deben considerarse en la proyección financiera de un proyecto de carbón metalúrgico, incluyendo la estimación de ingresos, costos, imprevistos e indicadores de rentabilidad, como base para evaluar la viabilidad económica y apoyar la toma de decisiones en el planeamiento minero.

9.3.1. Proyección de ventas mensual

La proyección de ventas se basa en la estimación de la producción de carbón y el precio de mercado. La proyección financiera constituye una herramienta para estimar el comportamiento económico de una operación de minería de carbón metalúrgico

antes del inicio de la explotación. Su elaboración integra las proyecciones de producción, las ventas esperadas, los costos operacionales, las inversiones, los gastos financieros y las obligaciones tributarias, permitiendo evaluar la rentabilidad del proyecto y apoyar la toma de decisiones durante el planeamiento minero.

Con el propósito de ilustrar la aplicación de los principales indicadores financieros descritos en este capítulo, a continuación, se presenta un ejemplo simplificado de proyección financiera mensual para una operación de pequeña minería de carbón metalúrgico.

Supuestos de la proyección

Para el desarrollo del ejemplo se consideran los siguientes supuestos:

- Producción mensual de carbón: **10.000 toneladas.**
- Precio promedio de venta: **USD 90 por tonelada.**
- Tipo de cambio: **3.800 COP/USD.**
- Precio estimado de venta: **342.000 COP por tonelada.**
- Poder calorífico promedio: **5.000 kcal/kg** (utilizado únicamente como referencia de calidad).

Estimación de los ingresos operacionales

Los ingresos mensuales se obtienen multiplicando la producción estimada por el precio unitario de venta.

Producción mensual

10.000 t

Precio de venta

342.000 COP/t

Ingresos operacionales

$10.000 \times 342.000 = 3.420.000.000 \text{ COP}$



Estimación de los costos operacionales (OPEX)

Los costos operacionales incluyen los gastos asociados con la extracción, el transporte interno, el consumo de combustible, el mantenimiento de maquinaria, la mano de obra, las actividades de perforación y voladura, así como los demás insumos requeridos para el desarrollo de la operación.

Costo operativo unitario

209.000 COP/t

Costo operativo mensual

$10.000 \times 209.000 = 2.090.000.000$ COP

Cálculo del EBITDA

El **EBITDA** representa el resultado operacional antes de considerar depreciaciones, amortizaciones, gastos financieros e impuestos.

$$\text{EBITDA} = \text{Ingresos operacionales} - \text{Gastos operacionales}$$

EBITDA

$3.420.000.000 - 2.090.000.000$

= 1.330.000.000 COP

Cálculo del EBIT

Posteriormente se incorpora el efecto de la depreciación de los activos adquiridos mediante las inversiones de capital (**CAPEX**).

Depreciación: **500.000.000 COP**

$$\text{EBIT} = \text{EBITDA} - \text{Depreciación}$$

EBIT

$1.330.000.000 - 500.000.000$

= 830.000.000 COP

Utilidad antes de impuestos (UAI)

Una vez descontados los gastos financieros asociados a la financiación del proyecto, se obtiene la utilidad antes de impuestos.

Gastos financieros

60.000.000 COP

$$\text{UAI} = \text{EBIT} - \text{gastos financieros}$$

UAI

$830.000.000 - 60.000.000 = 770.000.000$ COP

Utilidad neta

Finalmente, se calcula el impuesto sobre la renta y se determina la utilidad neta del periodo.

$$\text{Utilidad Neta} = \text{UAI} - \text{Impuesto sobre la renta}$$

Impuesto sobre la renta

35 % de la UAI

$770.000.000 \times 0,35$

= 269.500.000 COP

Utilidad neta

$770.000.000 - 269.500.000$

= 500.500.000 COP

La **Tabla 9-3** presenta la proyección financiera mensual y anual de una operación de minería de carbón metalúrgico, integrando los ingresos operacionales, los costos operativos (**OPEX**), la depreciación asociada a las inversiones de capital (**CAPEX**), los gastos financieros, el impuesto sobre la renta y la utilidad neta.



Tabla 9-3

Proyección financiera mensual y anual de una operación de minería de carbón metalúrgico

Concepto	Cálculo Detallado	Valor mensual (COP)	Proyección anual (COP)
Ingresos Operacionales (Ventas de carbón)	$10.000 \text{ t} \times 342.000 \text{ COP/t}$	3.420.000.000	41.040.000.000
Menos: Costo Operativo (OPEX)	$10.000 \text{ t} \times 209.000 \text{ COP/t}$	-2.090.000.000	-25.080.000.000
= EBITDA	$3.420.000.000 - 2.090.000.000$	1.330.000.000	15.960.000.000
Menos: Depreciación (CAPEX vía gasto)		-500.000.000	-6.000.000.000
= Utilidad Operativa (EBIT)	$1.330.000.000 - 500.000.000$	830.000.000	9.960.000.000
Menos: Gastos Financieros (Intereses)		-60.000.000	-720.000.000
= Utilidad Antes de Impuestos (UAI)	$830.000.000 - 60.000.000$	770.000.000	9.240.000.000
Menos: Impuesto a la Renta (35%)	$770.000.000 \times 0,35$	-269.500.000	-3.234.000.000
= Utilidad Neta (UN)	$770.000.000 - 269.500.000$	500.500.000	5.976.000.000

Así, a partir de la proyección de ingresos, costos, inversiones y resultados esperados, es posible evaluar la rentabilidad del proyecto y analizar el efecto que tienen las variables macroeconómicas y sectoriales sobre su desempeño financiero. Este análisis proporciona información para valorar la viabilidad económica de la operación y respaldar la toma de decisiones relacionadas con la inversión, la planificación de recursos y el desarrollo del plan de minado.

La elaboración de proyecciones financieras bajo diferentes escenarios permite evaluar el impacto de las variaciones en los precios del carbón, la tasa de cambio, los costos operativos, los niveles de producción y otros factores que pueden afectar el comportamiento económico del proyecto. Para ello, es importante 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 convierten en una herramienta para anticipar riesgos, evaluar oportunidades y fortalecer la planificación estratégica orientada a la sostenibilidad y rentabilidad de la operación minera.

9.2.3. Proyecciones financieras y el entorno macroeconómico

Las proyecciones financieras constituyen una herramienta esencial para el planeamiento de una operación de carbón metalúrgico, ya que permiten estimar la producción, los ingresos, los costos y la rentabilidad esperada del proyecto a partir de las condiciones técnicas y económicas previstas. Su elaboración integra variables operativas, como los volúmenes de extracción, los costos de producción, el transporte y el mantenimiento, junto con factores externos que pueden incidir sobre el desempeño financiero de la operación y la recuperación de las inversiones realizadas.



Entre los principales factores macroeconómicos se encuentra el Producto Interno Bruto (PIB), cuyo comportamiento influye sobre la actividad industrial y, en consecuencia, sobre la demanda de carbón metalúrgico utilizado en la producción de acero. Asimismo, indicadores como el nivel de empleo y la dinámica del sector industrial permiten anticipar cambios en el consumo del mineral y su posible efecto sobre las proyecciones de producción y comercialización.

La inflación constituye otra variable de especial importancia, debido a su incidencia sobre el costo de insumos como combustibles, explosivos, repuestos, transporte, servicios y mano de obra, afectando directamente el costo por tonelada producida. De igual forma, las variaciones del Salario Mínimo Mensual Legal Vigente (SMMLV) pueden modificar la estructura de costos laborales, especialmente en operaciones donde la participación de la mano de obra representa un componente significativo del costo operativo.

Por su parte, variables financieras como la Tasa Representativa del Mercado (TRM) y las tasas de interés inciden directamente en la planificación financiera del proyecto. La TRM afecta tanto los ingresos derivados de la comercialización internacional del carbón como los costos asociados a la adquisición de maquinaria, equipos y repuestos importados, mientras que las tasas de interés condicionan el costo del financiamiento requerido para ejecutar inversiones, ampliar la capacidad productiva o desarrollar nuevas etapas del proyecto.

La incorporación de estas variables en las proyecciones financieras permite construir escenarios económicos que facilitan la evaluación de riesgos, la identificación de oportunidades y el análisis de la viabilidad del proyecto frente a diferentes condiciones del mercado. De esta manera, el entorno macroeconómico se convierte en un insumo para la actualización del plan de minado y la planificación financiera de la operación, favoreciendo una toma de decisiones más informada. la **Figura 9-14** resume cómo el entorno macroeconómico impacta cualquier proyecto minero, por más pequeño que sea y esto a su vez, tiene influencia en el plan de minado y de crecimiento de la empresa.

Figura 9-14

Proyecciones financieras y entorno macroeconómico



La incorporación de las variables macroeconómicas en las proyecciones financieras permite evaluar el comportamiento del proyecto bajo diferentes escenarios económicos y fortalecer el proceso de planeamiento minero. Factores como la inflación, la tasa de cambio, las tasas de interés, el salario mínimo y el crecimiento económico pueden modificar la estructura de costos, los ingresos esperados y la rentabilidad de la operación. Por ello, la construcción de escenarios financieros con supuestos técnicos y económicos consistentes facilita la identificación de riesgos, la evaluación de oportunidades de inversión y la definición de estrategias que contribuyan a la sostenibilidad y estabilidad del proyecto en el largo plazo.

9.4. Priorización de inversiones técnicas

La priorización de las inversiones técnicas constituye una etapa fundamental del planeamiento minero, ya que permite asignar los recursos disponibles a aquellas iniciativas que generan mayor valor para el proyecto. En las operaciones de minería de carbón metalúrgico, decisiones relacionadas con la adquisición de maquinaria y equipos, la ampliación de la infraestructura, la modernización de los sistemas de transporte, el desarrollo de labores mineras o la implementación de mejoras tecnológicas deben evaluarse considerando tanto sus beneficios técnicos como su impacto sobre la productividad, los costos de operación y la rentabilidad del proyecto.

Antes de ejecutar una inversión, es recomendable analizar su contribución al incremento de la producción, la reducción del costo por tonelada, el mejoramiento de las condiciones de seguridad, el cumplimiento de los requisitos ambientales y la disminución de los riesgos que puedan afectar la continuidad de la operación. Este análisis permite orientar la asignación de recursos hacia aquellas inversiones que fortalecen la sostenibilidad técnica y financiera del proyecto.

Para apoyar este proceso, resulta conveniente utilizar herramientas de evaluación financiera que permitan comparar diferentes alternativas de inversión. Indicadores 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)** facilitan la evaluación de la rentabilidad esperada, el tiempo de recuperación de la inversión y el impacto de cada alternativa sobre el flujo de caja del proyecto.

Como ejemplo, la adquisición de una nueva cargadora, un equipo de transporte o un sistema de carga puede incrementar la capacidad de producción y mejorar la eficiencia operacional. No obstante, la decisión de inversión debe sustentarse en un análisis que considere el monto de la inversión requerida, el incremento esperado en la producción, la reducción de los costos operacionales, el tiempo estimado de recuperación del capital y los beneficios económicos proyectados para la operación.

La integración del análisis técnico y financiero facilita establecer un orden de prioridad entre las diferentes alternativas de inversión, especialmente cuando los recursos disponibles son limitados. De esta manera, las inversiones pueden orientarse hacia aquellas opciones que generan mayor rentabilidad, fortalecen la productividad, reducen los riesgos operacionales y contribuyen a la sostenibilidad económica del proyecto minero.

La **Figura 9-15** presenta un ejemplo comparativo para la priorización financiera de inversiones técnicas, ilustrando cómo la aplicación de criterios técnicos y financieros permite establecer el orden de ejecución de las diferentes alternativas de inversión en una operación de minería de carbón metalúrgico.



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.

La priorización de inversiones permite comparar diferentes alternativas considerando su impacto técnico, operativo y financiero. La aplicación de criterios como el VPN, la TIR, el período de recuperación, el costo de inversión y el efecto sobre la productividad facilita la selección de aquellas iniciativas que generan mayor valor para el proyecto y optimizan la utilización de los recursos disponibles durante el planeamiento minero.

Conceptos como el VPN, la TIR y el PAYBACK se abordan en los siguientes subcapítulos para un mejor entendimiento de estos indicadores financieros que son claves para la gestión del proyecto minero.

9.4.1. Valor Presente Neto (VPN)

El **Valor Presente Neto (VPN)** es un indicador financiero que permite determinar si una inversión generará beneficios suficientes para recuperar el dinero invertido y obtener una rentabilidad adecuada.

Para calcularlo se comparan la inversión inicial y los ingresos netos que se espera obtener durante la vida útil del proyecto, teniendo en cuenta que el valor del dinero cambia con el tiempo. Cuando el VPN es positivo, significa que la inversión genera beneficios superiores a los recursos invertidos; si es negativo, indica que los ingresos esperados no son suficientes para recuperar la inversión y obtener la rentabilidad esperada.

Para realizar este análisis se utiliza una tasa de descuento, conocida como costo de capital, que representa el costo de obtener los recursos financieros necesarios para desarrollar el proyecto. Estos recursos pueden provenir de créditos, inversionistas o recursos propios del productor. En términos prácticos, el **costo de capital** corresponde a la rentabilidad mínima que debe generar una inversión para justificar el uso de esos recursos frente a otras alternativas disponibles.



En la minería de carbón metalúrgico, el VPN es una herramienta útil para analizar inversiones como la compra de maquinaria, la apertura de nuevos frentes de explotación, la ampliación de infraestructura o la implementación de mejoras que aumenten la producción o reduzcan los costos de operación. Al comparar los beneficios esperados con la inversión requerida, este indicador facilita la priorización de proyectos y apoya la toma de decisiones sobre aquellas inversiones que ofrecen mejores resultados para la operación.

Criterio de decisión:

- $VPN > 0$: El proyecto es rentable (genera valor por encima de la tasa de descuento).
- $VPN = 0$: El proyecto no genera ni destruye valor (la rentabilidad es igual a la tasa de descuento).
- $VPN < 0$: El proyecto no es rentable (destruye valor).
-

9.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador financiero que permite estimar la rentabilidad esperada de una inversión durante su vida útil. Este indicador facilita la comparación entre diferentes alternativas de inversión y ayuda a identificar cuál ofrece un mejor rendimiento económico. En términos generales, cuando la TIR es superior al costo de capital o a la rentabilidad mínima esperada, la inversión puede considerarse financieramente conveniente; si es inferior, será necesario revisar su viabilidad o evaluar otras alternativas.

En la minería de carbón metalúrgico, la TIR es una herramienta útil para analizar inversiones como la compra de maquinaria, la apertura de nuevos frentes de explotación o las mejoras en los sistemas de transporte y producción. Por ejemplo, antes de adquirir un nuevo equipo, el productor puede comparar la rentabilidad esperada de esa inversión con otras opciones disponibles y seleccionar aquella que ofrezca mayores beneficios económicos para la operación, contribuyendo a un mejor aprovecha-

miento de los recursos y a una planificación más eficiente de las inversiones.

Los criterios de decisión para aceptar o rechazar un proyecto minero basados en la TIR son los siguientes:

- $TIR > k$ (Tasa de descuento): El proyecto se acepta. La rentabilidad del proyecto es superior a la tasa mínima exigida o al costo de capital.
- $TIR = k$ (Tasa de descuento): El proyecto es indiferente. La rentabilidad es igual al costo de oportunidad; no se genera riqueza adicional, pero se cubren las expectativas mínimas.
- $TIR < k$ (Tasa de descuento): El proyecto se rechaza. La rentabilidad es inferior a lo que se espera obtener en otras inversiones de riesgo similar.

9.4.3. Payback (Período de Recuperación)

El Payback o Período de Recuperación es un indicador que permite estimar el tiempo necesario para recuperar el dinero invertido en un proyecto a partir de los ingresos que genera la operación. Es una herramienta sencilla que ayuda a evaluar qué tan rápido puede recuperarse una inversión y, por tanto, el nivel de riesgo que representa. En general, cuanto menor sea el tiempo de recuperación, menor será la exposición a cambios en los precios del carbón, incrementos en los costos de producción u otras condiciones que puedan afectar la rentabilidad del proyecto.

En la minería de carbón metalúrgico, este indicador es útil para analizar inversiones como la compra de maquinaria, la adecuación de infraestructura o las mejoras en los procesos de producción y transporte. Conocer el tiempo estimado para recuperar la inversión facilita la comparación entre diferentes alternativas y permite priorizar aquellas que generen beneficios en un menor plazo, siempre que respondan a las necesidades de la operación y a los recursos disponibles.



Existe también el Payback Descontado, una variante que considera el valor del dinero en el tiempo al incorporar una tasa de descuento en el análisis de los flujos de caja. Este indicador proporciona una estimación más realista del tiempo de recuperación de la inversión y complementa la evaluación financiera del proyecto, especialmente cuando se analizan inversiones de mayor cuantía o con periodos de recuperación prolongados.

9.4.4. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio corresponde al nivel mínimo de producción y ventas que una operación de carbón metalúrgico debe alcanzar para cubrir todos sus costos. En este punto, los ingresos obtenidos por la venta del carbón son suficientes para pagar los costos fijos y variables de la operación, sin generar utilidades ni pérdidas. Este indicador permite conocer desde qué nivel de producción la mina comienza a ser rentable.

Para una operación de pequeña minería, el punto de equilibrio sirve para establecer cuántas toneladas de carbón deben producirse y venderse para cubrir gastos como la nómina, el combustible, el mantenimiento de los equipos, el transporte, los costos administrativos y las obligaciones ambientales y regulatorias. Cuando la producción supera este nivel, la operación empieza a generar utilidades; si se mantiene por debajo, será necesario revisar los costos, la productividad o las condiciones de comercialización para evitar pérdidas.

Figura 9-16

Fórmula del punto de equilibrio

$$\text{Punto de Equilibrio (Unidades)} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\text{Precio de Venta Unitario} - \text{Costo Variable U}}$$

Fuente: El estudio

Conocer el punto de equilibrio facilita la planificación de la producción y la evaluación de diferentes escenarios, como cambios en el precio del carbón, incrementos en los costos o reducciones en los niveles de extracción. Esta información ayuda al productor a definir metas de producción más realistas, anticipar posibles dificultades financieras y tomar decisiones que contribuyan a la continuidad y sostenibilidad de la operación.

La **Figura 9-16** muestra la fórmula para calcular el punto de equilibrio.

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 que permite evaluar qué tan bien está aprovechando una operación de carbón metalúrgico los recursos invertidos para generar utilidades. Al comparar el rendimiento obtenido con el costo del capital, es posible determinar si las inversiones realizadas en maquinaria, infraestructura y equipos están generando los beneficios esperados y contribuyen al crecimiento de la operación.

En la pequeña minería de carbón, el ROIC resulta útil para analizar inversiones como la adquisición de maquinaria, la ampliación de infraestructura o la implementación de mejoras que incrementen la producción o reduzcan los costos de operación. Su análisis permite identificar si los recursos investi-



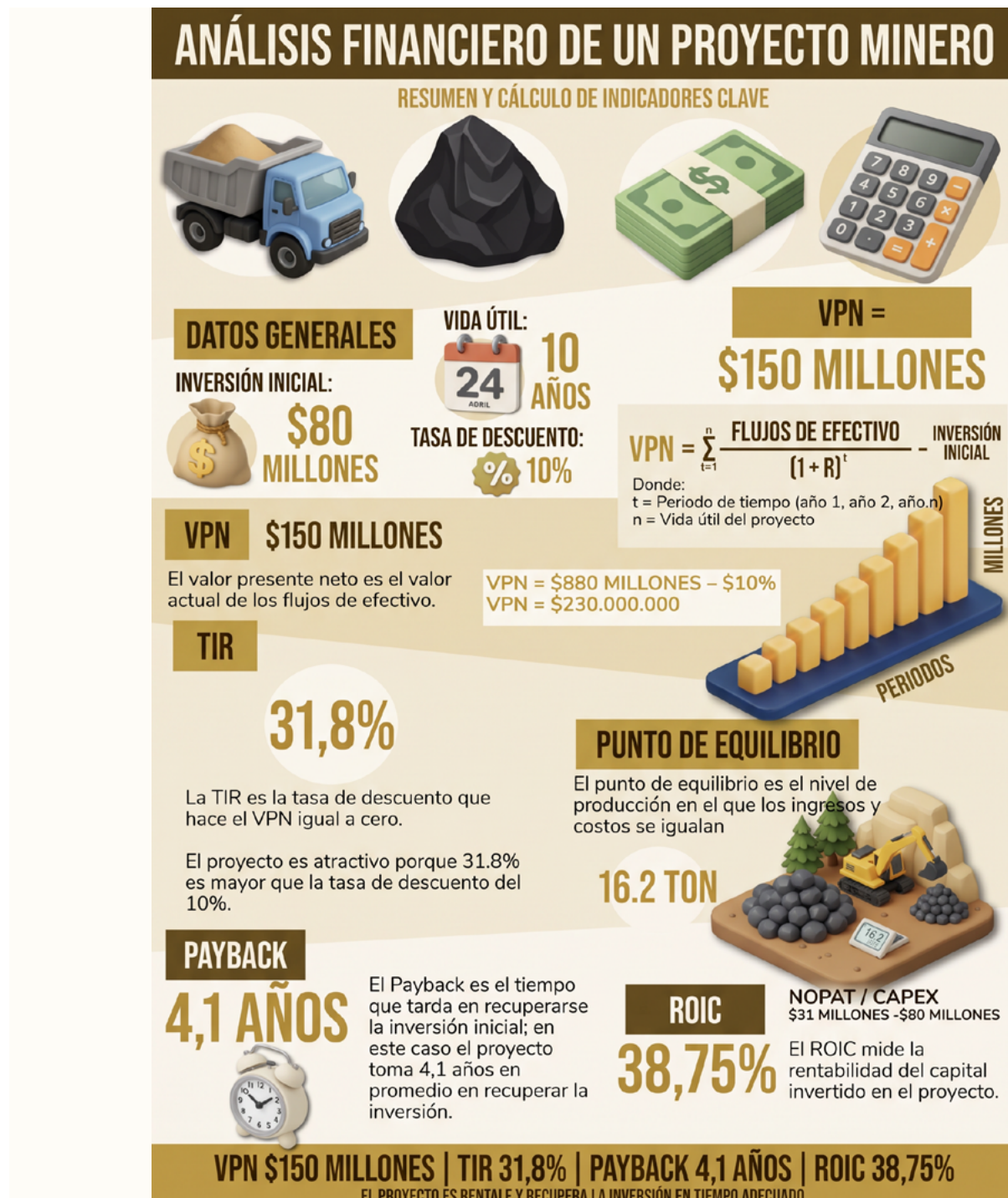
dos están siendo utilizados de manera eficiente y facilita la comparación entre diferentes alternativas de inversión antes de destinar nuevos recursos al proyecto.

Evaluar periódicamente este indicador junto con otros como el VPN, la TIR, el Payback y el Punto de Equilibrio proporciona una visión más completa del desempeño financiero de la operación y facilita la

priorización de las inversiones que ofrecen mayores beneficios económicos. La **Figura 917** presenta un análisis financiero integrado de un proyecto minero de carbon a pequeña escala, incorporando indicadores como VPN, TIR, payback, punto de equilibrio y ROIC.

Figura 9-17

Análisis financiero de un proyecto minero de pequeña escala



El análisis de la imagen del proyecto minero confirma una operación con indicadores financieros sólidos. Con una inversión inicial de \$80 millones y una vida útil de 10 años, el proyecto alcanza un VPN de \$150 millones y una TIR del 31.8%, cifras que superan ampliamente la tasa de descuento del 10% exigida. Esto indica que la mina no solo recupera el capital, sino que genera una riqueza adicional significativa, respaldada por un ROIC del 38.75%, lo que demuestra una alta eficiencia en el uso de los recursos invertidos para generar utilidades.

En cuanto a la recuperación y seguridad operativa, el payback de 4.1 años asegura que el desembolso inicial se retorna en menos de la mitad del tiempo de vida del proyecto. El punto de equilibrio, fijado en 16,2 toneladas, establece el límite operativo mínimo; a partir de este volumen de producción, la estructura de ingresos logra cubrir la totalidad de los costos fijos y variables. En conjunto, estos datos describen un negocio rentable, con capacidad para absorber variaciones moderadas en el mercado sin comprometer su viabilidad económica.

9.4.6. Recomendaciones para la priorización de inversiones técnicas

En las operaciones de pequeña minería de carbón metalúrgico, la decisión de realizar inversiones en maquinaria, infraestructura, desarrollo de labores mineras o modernización de equipos debe sustentarse en un análisis integral que considere tanto los beneficios técnicos como la capacidad financiera de la operación. La asignación adecuada de los recursos permite fortalecer la productividad, optimizar los costos y contribuir a la sostenibilidad económica del proyecto.

Uno de los primeros aspectos que debe evaluarse es el efecto esperado de la inversión sobre la producción y los costos operacionales. Una inversión que incremente la capacidad de extracción reduzca los tiempos de operación, mejore la eficiencia de los procesos o disminuya el costo por tonelada producida puede generar mejoras en indicadores

como el margen operativo y el **EBIT**, al incrementar la diferencia entre los ingresos operacionales y los costos de operación. No obstante, cuando los beneficios esperados son limitados o insuficientes para compensar el capital invertido, la conveniencia económica de la inversión debe analizarse con mayor detalle.

Asimismo, resulta recomendable elaborar proyecciones de flujo de caja que permitan estimar los ingresos y egresos futuros de la operación, con el fin de verificar la disponibilidad de recursos para financiar la inversión sin afectar la liquidez del proyecto. Complementariamente, la evaluación mediante indicadores como el **Valor Presente Neto (VPN)**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR)** y el **Período de Recuperación de la Inversión (Payback)** facilita comparar diferentes alternativas y seleccionar aquellas que generan mayor valor económico y presentan un nivel de riesgo aceptable.

De igual forma, es conveniente analizar escenarios alternativos que incorporen variaciones en el precio del carbón, los niveles de producción y los costos operacionales, con el propósito de evaluar la capacidad del proyecto para mantener su viabilidad financiera bajo condiciones de mercado menos favorables. Este tipo de análisis fortalece la toma de decisiones y contribuye a una gestión más eficiente de las inversiones durante el planeamiento minero.

La **Figura 9-18** presenta una secuencia metodológica para apoyar la priorización de inversiones técnicas, integrando criterios técnicos, operacionales y financieros que facilitan la toma de decisiones durante el planeamiento de una operación de minería de carbón metalúrgico.



Figura 9-18

Recomendaciones para las inversiones técnicas



RECOMENDACIONES PARA LA PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES TÉCNICAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA DE CARBÓN

- Base prioritariamente la inversión en una necesidad técnica claramente identificada que busque mejorar la productividad, reducir costos o disminuir riesgos.
- Proyecte los beneficios esperados antes de adquirir maquinaria, ampliar frentes de explotación o mejorar infraestructura.
- Analice el periodo de recuperación de la inversión y use indicadores como VPN, TIR y periodo de recuperación (Payback) para evaluar.
- Priorice inversiones que fortalezcan la continuidad, la seguridad minera y el cumplimiento ambiental del proyecto.
- Evalúe riesgos financieros realizando escenarios de precios, costos y producción antes de comprometer recursos.
- Una adecuada priorización de inversiones técnicas permite el crecimiento sostenible y sólido de la pequeña minería de carbón.

La figura evidencia que la priorización de inversiones debe orientarse hacia aquellas alternativas que generen el mayor beneficio técnico, operativo y financiero para la operación minera. En muchos casos, resulta conveniente priorizar inversiones destinadas a mejorar la eficiencia operacional y reducir los riesgos asociados a la producción de carbón metalúrgico, como el mantenimiento de equipos, la optimización de los sistemas de transporte interno, el fortalecimiento de la ventilación y la implementación de mejoras en seguridad minera.

Este tipo de inversiones contribuye a disminuir la probabilidad de interrupciones en la operación, optimizar el uso de los recursos disponibles, mantener la continuidad de la producción y fortalecer la sostenibilidad técnica y financiera del proyecto. La decisión de inversión debe sustentarse en un análisis integral que considere la rentabilidad esperada, la disponibilidad de recursos, el impacto sobre la productividad y los riesgos operacionales, con el propósito de asignar el capital a aquellas iniciati-

vas que generen mayor valor para la operación durante el planeamiento minero.

9.4.7. Recomendaciones generales

La gestión financiera en la pequeña minería de carbón es un elemento clave para garantizar la sostenibilidad de la operación en un sector expuesto a la volatilidad de precios internacionales, variaciones en la tasa de cambio y altos costos operativos. Por esta razón, es fundamental que cada operación conozca con precisión su costo real por tonelada producida, de manera que el precio de venta permita cubrir los costos operativos, las inversiones en equipos y las obligaciones legales y ambientales.

Se recomienda mantener un control permanente de los costos directos de extracción, especialmente en rubros como combustible, mano de obra, mantenimiento, insumos de sostenimiento y transporte. En muchas operaciones de pequeña escala, el



transporte representa una parte significativa del costo total, por lo que mejorar la eficiencia logística y aplicar programas de mantenimiento preventivo de equipos puede contribuir a reducir el costo por tonelada y a evitar interrupciones en la producción. Las decisiones de inversión deben evaluarse con prudencia - como lo muestra la **Figura 9-19** y basarse en análisis financieros que consideren la capacidad real del yacimiento, las condiciones del mercado y la disponibilidad de recursos. Herramientas como el flujo de caja, el VPN, la TIR y el Payback permiten determinar si una inversión genera valor y si puede recuperarse en un plazo razonable sin comprometer la liquidez de la operación.



Figura 9-19

Recomendaciones generales para la gestión financiera en la pequeña minería de carbón

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA GESTIÓN FINANCIERA EN LA PEQUEÑA MINERÍA DE CARBÓN



Conocer el costo real por tonelada producida para tomar decisiones inteligentes.

Registrar combustible, mano de obra, equipos y transporte. Analizar si el precio del carbón está cubriendo los costos y generando margen.

Realizar mantenimientos preventivos para evitar paradas costosas e inesperadas.

Revisar maquinaria y equipos regularmente para reducir tiempos muertos y costos excesivos de averías.

Invertir solo si hay demanda real y la mina puede asumirlo.

Evaluar si comprar nueva maquinaria o ampliando frentes de trabajo se 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 del cierre de mina para evitar sanciones futuras.

Proyectar escenarios con precios de carbón variables y dólar fluctuante.

Evaluar cómo cambios en el precio de carbón y la TRM pueden afectar ingresos y márgenes.

Finalmente, la formalización minera no solo implica cumplir con los requisitos técnicos y ambientales, sino también demostrar una adecuada organización financiera. Llevar registros claros de ingresos y gastos, analizar la rentabilidad y planificar las inversiones con criterios económicos fortalece la relación con entidades financieras, autoridades y compradores del carbón metalúrgico. En la pequeña minería, la estabilidad de la operación depende tanto del recurso disponible como de la capacidad de gestionar de manera responsable los recursos financieros.





10. GLOSARIO TÉCNICO

Afectación ambiental: Alteración positiva o negativa de los componentes del ambiente causada por la actividad minera.

Aguas de escorrentía: Agua que fluye sobre la superficie del terreno y puede arrastrar sedimentos o contaminantes provenientes de la actividad minera.

Aguas residuales domésticas: Aguas generadas por el uso cotidiano en viviendas, campamentos o instalaciones administrativas, provenientes principalmente de sanitarios, lavamanos, duchas y cocinas, que contienen materia orgánica y microorganismos.

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 vegetación, de manera temporal o permanente, con el fin de desarrollar un proyecto, garantizando medidas de manejo, compensación y restauración ambiental.



Área intervenida: Zona donde se realizan actividades de extracción, transporte, acopio o disposición de materiales asociados a la minería de carbón.

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 carbón.

Buenas prácticas ambientales: Acciones preventivas y correctivas que reducen los impactos ambientales y promueven una minería responsable.

Buenas prácticas mineras: Conjunto de acciones técnicas, sociales, ambientales y laborales orientadas a desarrollar la actividad minera de manera responsable, segura, eficiente y sostenible, minimizando riesgos y fortaleciendo la relación con el territorio.

Calidad del aire: Estado del aire determinado por la presencia de material particulado, gases y polvo generados por la minería de carbón.

Control de material particulado: Medidas para reducir la emisión de material particulado durante el arranque, transporte y acopio de carbón.

Cuerpo de agua: Fuente hídrica superficial o subterránea, como ríos, quebradas, nacimientos o acuíferos.

Cunetas perimetrales: Canales construidos alrededor de áreas intervenidas del proyecto minero, destinados a captar y conducir las aguas de escorrentía superficial, evitando su ingreso a frentes de explotación, botaderos o zonas operativas, y reduciendo procesos de erosión y sedimentación.

Caracterización social: Proceso mediante el cual se analiza y describe la situación social, económica, cultural y organizativa de las comunidades ubicadas en el área de influencia del proyecto minero.

Comunidad del área de influencia: Personas, familias u organizaciones que habitan o desarrollan actividades en el territorio donde se ejecuta el proyecto minero y que pueden verse afectadas o beneficiadas por este.

Comunicación y participación social: Conjunto de mecanismos que permiten informar, socializar, consultar y mantener un diálogo permanente entre el proyecto minero, las comunidades y las autoridades.

Concesión de aguas: Derecho otorgado por la autoridad ambiental que autoriza el uso y aprovechamiento de aguas superficiales o subterráneas, en una cantidad y período determinados, para el desarrollo de actividades productivas o domésticas.



Debida diligencia social: Proceso preventivo de identificación, evaluación y gestión de riesgos e impactos sociales asociados a la actividad minera, con el fin de evitar conflictos y afectaciones negativas.

Disposición de estériles: Manejo técnico del material extraído sin contenido de carbón 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 carbón.

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 carbón.

Gestión integral de residuos: Conjunto de actividades orientadas a la reducción, separación, almacenamiento, transporte, aprovechamiento y disposición final de los residuos.

Gestión integral del recurso hídrico: Proceso de planificación, uso, conservación y protección del agua que considera de manera conjunta los aspectos ambientales, sociales y productivos, con el fin de garantizar su disponibilidad, calidad y sostenibilidad en el territorio.

Grupos de interés: Personas, comunidades, organizaciones o instituciones que pueden verse afectadas, beneficiadas o tener influencia sobre el proyecto minero, incluyendo comunidades locales, trabajadores, autoridades y actores económicos.



Humectación: Aplicación de agua sobre vías, frentes y acopios para controlar la generación de polvo.

Huella ambiental: Impacto total que genera un proyecto sobre los recursos naturales durante su ejecución.

Inclusión social: Principio que busca garantizar la participación equitativa de todos los grupos poblacionales, especialmente aquellos en situación de vulnerabilidad, en los beneficios y procesos asociados al proyecto minero.

Indicadores de seguimiento: Herramientas cuantitativas o cualitativas utilizadas para medir el avance, cumplimiento y efectividad de las actividades del Plan de Gestión Social.

Impacto ambiental: Cambio en el ambiente causado directa o indirectamente por una actividad minera.

Líneas estratégicas: Ejes temáticos que organizan las acciones del Plan de Gestión Social, de acuerdo con las necesidades identificadas en el territorio y los impactos del proyecto minero.

Material particulado: Pequeñas partículas sólidas suspendidas en el aire, generadas principalmente por el manejo del carbón y tránsito vehicular.

Medidas de manejo ambiental: Acciones técnicas diseñadas para controlar y reducir impactos negativos sobre el ambiente.

Monitoreo ambiental: Seguimiento periódico de variables ambientales para evaluar el comportamiento de los impactos del proyecto.

Permiso de emisiones atmosféricas: Autorización otorgada por la autoridad ambiental competente que permite la liberación controlada de contaminantes al aire, producto de fuentes fijas o móviles del proyecto, siempre que se cumplan los límites y condiciones establecidos en la normatividad ambiental vigente.

Permiso de vertimientos: Autorización emitida por la autoridad ambiental para la descarga de aguas residuales tratadas a un cuerpo de agua superficial, al suelo o al sistema de alcantarillado, bajo condiciones técnicas que garanticen la protección del recurso hídrico.

Permiso para concesión de aguas: Acto administrativo mediante el cual la autoridad ambiental evalúa y aprueba la solicitud presentada por el interesado para el uso del recurso hídrico, estableciendo condiciones técnicas, obligaciones y medidas de manejo ambiental.

Plan de Gestión Social (PGS): Instrumento de planeación exigido por la Agencia Nacional de Minería que establece las acciones, estrategias y mecanismos para gestionar los impactos sociales del proyecto minero, promover beneficios comunitarios y fortalecer la relación con el territorio.

Planeamiento minero: Proceso de organización y programación de las actividades mineras que integra aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos, orientado a una explotación eficiente y responsable.
Plan de Manejo Ambiental (PMA): Instrumento que establece las medidas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales.



Plan de cierre y abandono: Conjunto de acciones orientadas a la recuperación ambiental del área una vez finaliza la actividad minera.

Polvo fugitivo: Material particulado que se dispersa sin control en el aire durante las operaciones mineras.
Pozo séptico: Sistema de tratamiento primario de aguas residuales domésticas, generalmente subterráneo, que permite la sedimentación de sólidos y la digestión parcial de la materia orgánica antes de su infiltración controlada o disposición final.

Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA): Instrumento de gestión ambiental que establece acciones, metas y medidas orientadas a optimizar el consumo de agua, reducir pérdidas y promover el aprovechamiento responsable del recurso hídrico en el desarrollo de un proyecto.

Punto ecológico: Área debidamente señalizada y acondicionada dentro del proyecto minero, destinada a la separación en la fuente, almacenamiento temporal y correcta gestión de los residuos sólidos, de acuerdo con su clasificación (ordinarios, reciclables y peligrosos), con el fin de prevenir la contaminación del suelo, agua y aire.

Reforestación: Proceso de siembra de especies vegetales para recuperar áreas intervenidas por la minería.
Reusó de aguas: Práctica mediante la cual las aguas residuales tratadas o aguas de escorrentía son aprovechadas nuevamente en actividades del proyecto, como humectación de vías o procesos operativos, reduciendo el consumo de agua fresca.

Rehabilitación ambiental: Acciones para restablecer parcialmente las condiciones naturales del área intervenida.

Restauración ambiental: Proceso de recuperación integral de los ecosistemas afectados por la actividad minera.

Residuo: Material, sustancia u objeto que se genera como resultado de una actividad y que no tiene valor de uso inmediato.

Residuo ordinario: Residuo no peligroso generado en actividades cotidianas, como restos de alimentos, papel, cartón y plásticos comunes.

Residuo reciclable: Residuo que puede ser aprovechado mediante procesos de reciclaje, como papel, cartón, vidrio, plástico y metales.

Residuo peligroso (RESPEL): Residuo que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o infecciosas representa riesgo para la salud y el ambiente.

Residuo especial: Residuo que, sin ser peligroso, requiere un manejo diferenciado por su volumen o características, como llantas, aceites usados y filtros.

Residuos de Construcción y Demolición (RCD): Materiales generados en obras civiles, adecuaciones y mantenimiento de infraestructura.



Sedimentación: Acumulación de partículas de suelo o roca en cuerpos de agua debido a procesos de arrastre.

Seguridad y Salud en el Trabajo (SST): Conjunto de políticas, normas y acciones orientadas a prevenir accidentes laborales, enfermedades profesionales y promover condiciones seguras y saludables para los trabajadores.

Separación en la fuente: Clasificación de los residuos desde el lugar donde se generan, de acuerdo con su tipo y manejo.

Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas: Infraestructura destinada a la recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales generadas por actividades domésticas, tales como servicios sanitarios, duchas y cocinas, garantizando la protección del suelo, las fuentes hídricas y la salud pública.

Sistema de tratamiento de aguas residuales mineras: Conjunto de obras, equipos y procesos físicos, químicos o biológicos diseñados para tratar las aguas afectadas por las actividades mineras, con el fin de remover contaminantes, reducir su carga contaminante y permitir su disposición o reutilización de acuerdo con la normatividad ambiental vigente.

Socialización del proyecto: Proceso mediante el cual se informa a las comunidades y autoridades sobre las características, fases y alcances del proyecto minero, promoviendo la transparencia y el diálogo.

Suelo minero: Capa superficial del terreno intervenida por la extracción de carbón, susceptible a degradación.

Título minero: Derecho otorgado por el Estado que autoriza a una persona natural o jurídica a explorar y explotar un recurso mineral en un área determinada, bajo condiciones legales específicas.

Tratamiento de residuos: Procesos físicos, químicos o biológicos aplicados a los residuos para reducir su peligrosidad o volumen.

Transporte de residuos: Traslado de residuos desde el sitio de generación hasta el lugar de tratamiento o disposición final, realizado por gestores autorizados.

Valorización de residuos: Proceso mediante el cual los residuos se convierten en recursos útiles, reduciendo la cantidad destinada a disposición final.

Vías internas mineras: Caminos utilizados para el tránsito de vehículos y maquinaria dentro del área del proyecto, los cuales deben contar con señalización, límites de velocidad y normas de seguridad.

Vertimiento: Descarga controlada de aguas residuales mineras a un cuerpo receptor, conforme a la normatividad ambiental.

Zanjas de coronación: Canales ubicados en la parte superior de frentes de explotación o áreas intervenidas, diseñados para interceptar y desviar las aguas lluvias provenientes de zonas altas, previniendo la inestabilidad de taludes, la erosión del suelo y el arrastre de sedimentos hacia el área minera.





11. SIGLAS

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





12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Nacional de Minería. (2020). *Guía de buenas prácticas mineras para la pequeña minería y procesos de formalización*. ANM.

Agencia Nacional de Minería. (2021a). *Resolución 263 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. (2021b). *Términos de referencia para la elaboración de planes y proyectos de gestión social*. ANM.

Andrade, G. I., & Rudas, G. (2009). *Biodiversidad y minería en Colombia: Una aproximación a sus impactos*. Universidad Nacional de Colombia.

Altimira, J. (2024, 10 de junio). ¿Qué es CAPEX y OPEX? Upbizer.

Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). *Principles of corporate finance* (13th ed.). McGraw-Hill Education.



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 y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Diario Oficial No. 41.146.

Congreso de la República de Colombia. (2001). Ley 685 de 2001, Código de Minas. Diario Oficial No. 44.545.

Congreso de la República de Colombia. (2021). Ley 2169 de 2021, por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática. Diario Oficial No. 51.818.

Compañía Minera Poderosa S. A. (2024). Estados financieros separados al 31 de diciembre de 2023 y 2022.

García, O. L. (2024). Flujo de caja y proyecciones financieras con análisis de riesgo (3.ª ed.). Universidad Externado de Colombia.

García-Marmolejo, G., Arroyo-Rodríguez, V., Escobar, F., & Bustamante, M. (2017). Fragmentación del paisaje y pérdida de biodiversidad en ecosistemas tropicales. (Completar datos editoriales de la publicación utilizada).

Gómez, F., et al. (2024). Impact of Artisanal Gold Mining in Community Conserved Areas with High Biodiversity. (Completar revista científica y DOI correspondiente).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad. Instituto Humboldt.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015a). Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015b). Manual para la compensación por pérdida de biodiversidad. MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía para la gestión integral de residuos sólidos. MADS.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala. MADS.



Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. MAVDT.

Ministerio del Trabajo. (2015). *Decreto 1072 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo*. MinTrabajo.

Organización Internacional del Trabajo. (2019). *Seguridad y salud en las minas*. OIT.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Minería y desarrollo sostenible: Buenas prácticas sociales y ambientales*. PNUD.

Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jordan, B. D. (2022). *Fundamentals of corporate finance* (14th ed.). McGraw-Hill Education.

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2014). *Lineamientos para una minería responsable*. UPME.





13. ANEXOS

Anexo 5.1 Lista de verificación de buenas prácticas mineras

Anexo 5.2 Registros de producción. Turnos

Anexo 5.3 Ejemplo amenazas y vulnerabilidad riesgos críticos

Anexo 8.1 Listas Verificación Planeamiento Ambiental Proyecto Minero

Anexo 8.2 Implementación de tecnologías limpias
en minería de carbón metalúrgico en Colombia

Anexo 8.3 Requerimientos ambientales en los diferentes
instrumentos técnicos mineros.

Anexo 8.4 Paso a paso planteado en la identificación de impactos ambientales.



Anexo 5.1 Lista de verificación de buenas prácticas mineras

Los anexos reúnen las listas de chequeo y verificación que respaldan la aplicación práctica de la guía técnica. Su propósito es ofrecer instrumentos claros, estandarizados y de uso inmediato en campo, permitiendo evaluar de manera objetiva los componentes operativos, geométricos y de seguridad de la unidad minera. Estos formatos fortalecen la trazabilidad, facilitan la identificación de hallazgos y apoyan la toma de decisiones técnicas, asegurando que la implementación de la guía se realice con rigor, coherencia y control verificable

ÍTEM 1 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS

LISTA DE VERIFICACION CARACTERIZACION DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Se tienen identificados quebradas, drenajes, zonas encharcadas que intervienen en la zona de explotación			
Se tienen un plano de ubicación de las BM, escombreras y efluentes de agua (nacimientos filtraciones y surgencias observadas en taludes, galerías y frentes)			
Se tienen registros de historial de inundaciones en BM cercanas, zonas de riesgo como fallas, contactos, intersección con labores antiguas (mapa de riesgo)			
Aguas superficiales o de escorrentia			
Se tienen canales perimetrales, cunetas aguas arriba de la BM, para el manejo de aguas de escorrentía.			
Se hacen controles como por ejemplo impermeabilización de canales para evitar infiltraciones que generen aguas acidas			
Las vías de acceso a la mina tienen cunetas conectadas al sistema de alcantarillado			
¿Se tiene un programa de limpieza de cunetas y canales y se cumple?			
Se tienen disipadores de velocidad del agua (escalas, gaviones pozas) en tramos de alta pendiente			
Aguas subterrneas y desagüe minero			
Las galerías principales son diseñadas con pendiente a favor de la circulación de agua hasta los pozos de bombeo.			



Se tienen procedimientos para el control de aguas en frentes de trabajo donde se evidencie un alto flujo de agua como por ejemplo perforaciones horizontales de alivio de presión.			
Se tienen planos del sistema de conducción interna del agua subterránea, ubicando cunetas y puntos de bombeo.			
Se tiene un programa de mantenimiento de cunetas y pozos de bombeo y se cumple efectivamente			
Los pozos de bombeo están ubicados en zonas estables, protegidos de caída de rocas y un acceso seguro			
Las bombas tienen la potencia adecuada para evacuar el caudal de agua generado en la mina. Las tuberías tienen el diámetro adecuado y están señalizadas			
Las bombas usadas y los accesorios de conexión son certificada anti-exposición y son de operación automática			
Se tienen sedimentadores para la retención de sólidos antes de su vertimiento o reuso			
Se tienen procesos de neutralización de la acidez del agua PH.			
Se tiene un programa de limpieza de pozos y/o sedimentadores para evacuar los lodos generados y se disponen en los botaderos.			
Se tienen reservorios independientes para captar agua lluvia y se reutiliza adecuadamente (cocinar, baños, campamentos etc.)			
Se tienen puntos de muestreo de agua y análisis de calidad.			

ÍTEM 2 PRINCIPIOS DE DISEÑO MINERO SUBTERRANEO DE CARBÓN METALÚRGICO

LISTA DE VERIFICACION PRINCIPIOS DEL DISEÑO MINERO EN MINERIA SUBTERRANEA DE CARBON METALURGICO			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Se cuenta con un modelo geológico que describa la geometría del yacimiento, mantos explotables y estructuras principales.			
Se tiene seleccionado los métodos(s) o métodos de explotación que se pueden implementar en la mina			
La mina(s) cuentan con plan de ventilación, esta implementado y se ajusta en base al Desarrollo de la mina.			
La mina(s) cuentan con plan de sostenimiento, esta implementado y se ajusta en base al Desarrollo de la mina.			
El cargue y transporte interno de la mina permite la evacuación del mineral y el estéril generado, cumpliendo con los planes de producción establecidos			



El sistema de electrificación minera cumple con los estándares de seguridad RETIE y el decreto de seguridad minera 1886 de 2015.			
La mina(s) cuentan con un sistema de desagüe adecuado según el caudal de agua subterránea generado.			
La mina cuenta con un sistema de canales perimetrales para el control del agua superficial			
La mina tiene la infraestructura suficiente y adecuada para su operación (Tolvas, energía eléctrica, vías de acceso, zona para el diseño de botaderos, malacates entre otros)			
Se tiene planta de beneficio que permita cumplir con los requerimientos del mercado (granulometría, control de calidad).			
La mina cuenta con el personal administrativo, técnico y operacional necesaria en la operación			

ÍTEM 3 BENEFICIO DE MINERALES

LISTA DE VERIFICACION PARA EL BENEFICIO DEL MINERAL			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Se tiene un procedimiento para la selección manual de estériles en bandas transportadoras y se llevan registros del volumen de estéril generado			
La trituración del mineral cumple con las especificaciones granulométricas exigidas.			
Se hace un control adecuado en la trituradora para evitar la generación excesiva de finos de carbón			
Las mallas de las cribas cumplen con los diámetros adecuados en base a las especificaciones establecidas			
Los finos generados están depositados en áreas confinadas y se aprovechan de alguna forma			
La ubicación de la planta de beneficio es cercana a la BM, y tiene sistemas de control para el manejo de aguas, emanación de material particulado y conatos de incendio.			
Los equipos de cargue y transporte del mineral beneficiado son eficientes y con alta disponibilidad de servicio.			



ÍTEM 4 DISEÑO DE BOTADEROS DE ESTÉRIL

LISTA DE VERIFICACION DISEÑO DE BOTADEROS DE ESTERILES			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Se tiene un lugar para disponer el estéril			
Se tiene planos topográficos de la zona y estudios geotécnicos			
Se tienen proyectado los volúmenes de estériles que se pueden generar durante la vida útil del proyecto			
Se tiene el estudio de capacidad portante y de asentamiento del botadero			
Se tiene un diseño del botadero con la inclinación de los taludes, factor de seguridad y control de aguas			
Se tiene un plan de trabajo para la recuperación paisajística del botadero			

ÍTEM 5 BUENAS PRÁCTICAS PLANEAMIENTO A LARGO PLAZO

LISTA DE VERIFICACION PLANEAMIENTO A LARGO PLAZO			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Se tiene asignada el área de trabajo			
Se efectuó el Cálculo de reservas y calidades de carbón			
Se tienen datos estructurales básicos de los yacimientos (Rumbo, Buzamiento, espesores, fallas etc.)			
La información geológica y estructural permite diseñar un modelo geológico del yacimiento			
Se cuenta con una caracterización del macizo rocoso, estudio geotécnicos o hidrogeológicos para evaluar la estabilidad de los suelos, y definir el diseño de los botaderos y taludes en superficie https://www.anm.gov.co/sites/default/files/guia_tecnica_gestipn_de_riesgos_geomecanicos_140224.pdf			
Cuenta con un plan minero con proyección a largo plazo, y se tienen definidos los recursos necesarios en cada una de las fases del proyecto, los equipos, tecnologías, personal y servicios mineros necesarios durante la vida útil del proyecto			
Se tienen proyectados planes de producción anuales para los próximos tres años, y se hace el control a través de indicadores de gestión			
Cuenta con un SGSST, y un plan de gestión que permita identificar, evaluar y controlar los riesgos en la explotación priorizando riesgos críticos (atmosferas explosivas, viciadas, derrumbes, electrificación etc.)			
Cuenta con Plan de cierre y abandono, donde se cuantifiquen los volúmenes de estéril proyectados durante la vida útil del proyecto, y la ubicación para su disposición bajo tierra (aprovechando zonas abandonadas) y en superficie (conformación de botaderos).			



ÍTEM 6 BUENAS PRÁCTICAS PLANEAMIENTO A MEDIANO PLAZO

LISTA DE VERIFICACION PLANEAMIENTO A MEDIANO PLAZO			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Se tienen cuantificadas las reservas y calidades de carbón por frentes activos y proyección de labores a mediano plazo			
Se tienen datos de los mantos de carbón (espesores de los mantos rumbos, buzamientos Intercalaciones, fallas locales, zonas tensionales, presencia de agua etc.)			
Se tienen planos de labores por mantos que evidencien puntos de control estructural			
La caracterización geomecánica de los mantos de carbón y rocas acompañantes permiten establecer diseños de sostenimiento óptimos y adecuados.			
Los parámetros de diseño minero en las labores de desarrollo, preparación y explotación están ajustados para cumplir los requerimientos de producción con las calidades establecidas.			
Se cuenta con un cronograma de trabajos donde se discriminen frentes de trabajo, recursos necesarios y volumen de carbón y estéril esperados			
Se tienen proyectados planes de producción mensuales y se hace el control a través de indicadores de gestión			
Se tienen indicadores de gestión que permitan evaluar la eficiencia operacional como, por ejemplo; Rendimiento de producción y zonificación de calidades por mantos de carbón, insumos, materiales, trabajo efectivo de maquinas y equipos entre otros.			
Se implementa el SGSST y se aplican los planes de gestión de riesgos críticos (Zonas abandonadas con conatos de incendio, zonas de falla o de respaldos con baja competencia, gases producto de voladura etc.). Se hacen los respectivos controles y se llevan registros de estos			



ÍTEM 7 BUENAS PRÁCTICAS PLANEAMIENTO A CORTO PLAZO

LISTA DE VERIFICACION PLANEAMIENTO A CORTO LAZO			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Se llevan registros de avances de labores por cada manto de carbón (día/semanal).			
Se tienen planos donde se registren de cambios geológicos y/o estructurales de los mantos (Ubicación de puntos de control)			
¿La mina se encuentra en fase de desarrollo y preparación?			
Se tiene un diseño minero adecuado en base al modelo geológico del yacimiento			
Se tienen definidos los volúmenes de producción por minas y por mantos de carbón metalurgico			
¿La mina se encuentra en fase de explotación?			
Se tiene definido el método de explotación y se aplica correctamente			
Se tiene caracterizados los frentes de explotación, la secuencia de extracción y los rendimientos de producción.			
Se hacen registros de la información operacional por turno (avances y rendimientos por frentes de trabajo, control de insumos y materiales, efectividad de los servicios mineros)			
Cuenta con un plan de gestión del Riesgo en seguridad (derrumbes, gases, electrificación, inundación), y plan de emergencia debidamente documentado y socializado. https://www.anm.gov.co/sites/default/files/2025-02-28-guia-tecnica-gestion-riesgo-minero-v7-1a.pdf			
Se hacen auditorias para evaluar le eficacia del plan de gestión del riesgo y del SGSST.			



ÍTEM 8 BUENAS PRÁCTICAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN METALÚRGICO

LISTA DE VERIFICACION PARA LA OPTIMIZACION DE LA PRODUCCIÓN			
1. SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACIÓN			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Definidos los parámetros técnicos y geológicos del yacimiento			
• Profundidad de los mantos. • rumbos, buzamientos, espesores de los mantos, continuidad			
Definición los parámetros de diseño			
Se tiene un determinado un Modelo geológico (geometría del yacimiento)			
Se cuenta con el diseño de labores mineras (labores de desarrollo, preparación y explotación), geometría de bloques de explotación, secciones de las vías.			
Se realiza la caracterización del macizo rocoso (resistencia, fracturación, campo tensional, comportamiento tensodeformacional) , y respectivo calculo de elementos de sostenimiento.			
Se definen los servicios mineros aplicables con sus respectivos cálculos			
El método(s) de explotación seleccionados están alineados con la geometría del yacimiento y aseguran una extracción racional del mineral			
Se tiene evaluado y calculado el factor de seguridad en la explotación minera, y su resultado es adecuado.			
Definición de los parámetros de productividad			
Se tienen proyectados los volúmenes de producción de carbón metalúrgico esperados por minas y por mantos			
Se tienen calculados y registrados los rendimientos de producción HT, y de las maquinas y equipos cuando aplique.			
Se tienen mediciones de eficiencia de maquinas y equipos			
Se hace control de calidad del carbón insitu y en superficie			
Se tienen definidos y controlados los costos de producción			



Definición de los parámetros de seguridad y salud en el trabajo			
Diseño e implementación de un SGSST, que integre planes de gestión de riesgos críticos(Derrumbes, atmosferas viciadas y explosivas, electrificación de minas)			
Se cuenta con Plan de emergencia actualizado y socializado con el personal(Análisis de vulnerabilidad) Ver Anexo ejemplo Análisis de vulnerabilidad			
Se tiene un diseño e implementación de un plan de gestión del riesgo ambiental			
2. OPTIMIZACION DE LA PRODUCTIVIDAD INTERNA			
CARGUE INTERNO			
Se tiene herramientas manuales (palas) con un diseño ergonómico adecuado, y en buenas condiciones para su uso			
Se tienen estandarizados los rendimientos de cargue con herramienta manual			
¿Se usan máquinas para el cargue de material?, se encuentran en buen estado			
Se tienen estandarizados los rendimientos de cargue mecánico.			
TRANSPORTE			
Se tiene un sistema de transporte que permite evacuar el mineral siguiendo los planes de producción			
Las máquinas y equipos (vagonetas/ malacates) están en buen estado y tienen registro de mantenimiento.			
Las secciones de las vías permiten la circulación de los equipos de transporte.			
Se tienen calculados los ciclos de transporte interno			
VENTILACION			
La mina cuenta con un plan de ventilación y se aplica correctamente			
El caudal de oxígeno generado es suficiente para diluir y controlar los gases presentes en la mina (especialmente los explosivos y tóxicos) por debajo de los VLP			
El monitoreo de gas metano se hace en base a la normatividad establecida en el Decreto de seguridad en minería subterránea 1886 de 2015			



Se llevan registros de las mediciones			
Se realizan aforos de ventilación semanalmente.			
Se realizan monitoreos permanentes a zonas abandonadas y a zonas con presencia de conatos de incendio			
Los ventiladores y accesorios de ventilación son certificados antiexplosion			
SOSTENIMIENTO			
Se tiene un estudio geomecanico y/o geotécnico base			
Se determina las cargas actuantes y tensionales en las diferentes labores mineras			
Los elementos de sostenimiento seleccionados satisfacen la caracterización del macizo rocoso +, en cuanto a su resistencia y capacidad soportante.			
Se tienen registros de los cálculos que respalden el sostenimiento seleccionado			
Se tiene identificadas las zonas de riesgo de baja competencia o desprendimientos de rocas (Plano de riesgo)			
Se tienen planos detallados donde se incluyan dimensiones de los elementos de sostenimiento, separaciones y especificaciones de construcción			
3. OPTIMIZACION EN LA CALIDAD DEL CARBON			
Se tienen procedimientos documentados para controlar la dilución. (separación carbón – estéril en los frentes de trabajo)			
Se hacen muestreos de manera periódica para controlar las desviaciones de calidad oportunamente.			
El personal que desarrolla actividades mineras, como arranque, cargue y transporte, está debidamente capacitado en cómo evitar técnicamente el incremento en el porcentaje de cenizas en el carbón			
Se hacen valoraciones periódicas de caracterización geomecánica, y estabilidad para evitar sobre roturas y caídas de estéril que pueda contaminar el mineral.			
Se cuenta con un SGSST, y se implementa para evitar accidentes que alteren la continuidad de la operación			



ÍTEM 9 BUENAS PRÁCTICAS PARA CONTROL OPERACIONAL EN PRODUCCIÓN DE CARBÓN.

LISTA DE VERIFICACION PARA EL CONTROL OPERACIONAL			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Se realizan estudios de evaluación geotécnica en superficie y bajo tierra (Cálculos y diseños)			
Se tiene definido un plan de producción por frentes de trabajo, en cada mina(s) y en cada manto(s) (Levantamientos topográficos, cubicaciones , tablas de producción)			
La mina(s) tienen Plan de sostenimiento, se implementa y evalúa periódicamente			
Se tiene una correcta planificación de turnos de trabajo y control de personal			
Se efectúa un control de insumos, materiales y/o producción Registros de producción/turnos. Ver Anexo xx.			
Se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo y/o correctivo de máquinas y equipos			
Se tiene trazabilidad de la disponibilidad y rendimientos de las máquinas quipos y se mantienen indicadores (Disponibilidad mecánica, utilización, MTTR, tiempo entre fallas).			
Se tiene un programa de calibración de quipos y se mantienen registros.			
Se hacen muestreos y análisis periódicos de laboratorio			
El personal está capacitado en actividades críticas de calidad (arranque, cague y transporte de carbón, sostenimiento entre otras).			
Se tienen estandarizados indicadores de calidad (% cenizas, $\frac{\text{ton real}}{\text{ton proyectada}}$)			
Se tiene un plan de gestión de riesgos para el control de gases tóxicos, explosivos y derrumbes)			
Los equipos tienen certificación anti-explosión, se llevan hojas de vida de estos, registros de calibración			
Se tiene un plan de auditorías en seguridad, y se hace trazabilidad a los hallazgos encontrados			



ÍTEM 10 CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS PROCESOS DE FORMALIZACIÓN

LISTA DE VERIFICACION CONSIDERACIONES GENERALES EN PROCESOS DE FORMALIZACIÓN			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
Hay interés de las partes interesadas en formalizar la operación minera			
Se tienen identificados los riesgos técnicos, económicos y sociales en la operación.			
Se tiene caracterizada la operación en sus fases: Exploración, desarrollo, preparación y explotación			
Se tienen caracterizados los procesos ya actividades mineras, (producción, calidades, seguridad, control ambiental etc)			
Las decisiones para la formalización se toman en base a evidencias como, por ejemplo; proyección de la operación, estudio de mercados, sostenibilidad.			
Existe el compromiso de cumplir con las normas legales, técnicas y de seguridad adquiridas en la formalización			

ÍTEM 11 BUENAS PRÁCTICAS EN SST Y GESTIÓN DE RIESGOS CRÍTICOS

LISTA DE VERIFICACION EN SST			
Actividad	Cumplimiento		
	Si	No	NA
La mina tiene un SGSST, un responsable de su implementación. Se revisa periódicamente (decreto 1443 de 2014)			
Se hace la revisión anual de estándares mínimos (Resolución 0312 de 2019) y se mantienen registros			
La matriz de Identificación de Peligros y valoración de riesgos (IPVR), esta actualizada. Se prioriza el control de los riesgos críticos (ventilación, sostenimiento, control de agua, zonas abandonadas, conatos de incendio etc.)			
Se tiene un programa de auditorías en SST, se cumple y evalúa por el copasst y demás partes interesadas			
La mina(s) cuentan con plan de ventilación, se aplica y esta actualizado			
La mina(s) cuentan con plan de sostenimiento , se aplica y esta actualizado			
Los riegos críticos son identificados evaluados y controlados. Existen procedimientos operativos normalizados de estos riegos, se socializan y evalúan con el personal			
La mina(s) cuentan con un plan de emergencia, esta actualizado. Se hacen simulacros anuales			
El personal conoce el decreto de seguridad minera subterránea de carbón 1886 de 2015. Se hacen capacitaciones en su normatividad y existen registros de etas.			



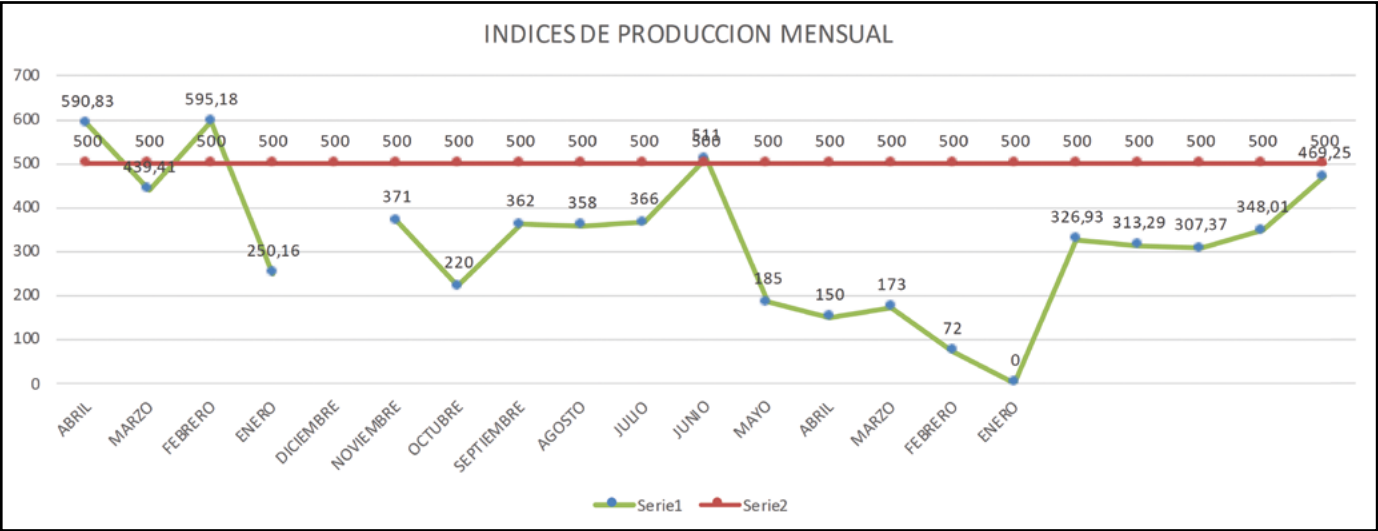
Anexo 5.2 Registros de producción. Turnos

Reporte de producción

1										2										3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18										19										20										21										22										23										24										25										26										27										28										29										30										31										32										33										34										35										36										37										38										39										40										41										42										43										44										45										46										47										48										49										50										51										52										53										54										55										56										57										58										59										60										61										62										63										64										65										66										67										68										69										70										71										72										73										74										75										76										77										78										79										80										81										82										83										84										85										86										87										88										89										90										91										92										93										94										95										96										97										98										99										100										101										102										103										104										105										106										107										108										109										110										111										112										113										114										115										116										117										118										119										120										121										122										123										124										125										126										127										128										129										130										131										132										133										134										135										136										137										138										139										140										141										142										143										144										145										146										147										148										149										150										151										152										153										154										155										156										157										158										159										160										161										162										163										164										165										166										167										168										169										170										171										172										173										174										175										176										177										178										179										180										181										182										183										184										185										186										187										188										189										190										191										192										193										194										195										196										197										198										199										200										201										202										203										204										205										206										207										208										209										210										211										212										213										214										215										216										217										218										219										220										221										222										223										224										225										226										227										228										229										230										231										232										233										234										235										236										237										238										239										240										241										242										243										244										245										246										247										248										249										250										251										252										253										254										255										256										257										258										259										260										261										262										263										264										265										266										267										268										269										270										271										272										273										274										275										276										277										278										279										280										281										282										283										284										285										286										287										288										289										290										291										292										293										294										295										296										297										298										299										300										301										302										303										304										305										306										307										308										309										310										311										312										313										314										315										316										317										318										319										320										321										322										323										324										325										326										327										328										329										330										331										332										333										334										335										336										337										338										339										340										341										342										343										344										345										346										347										348										349										350										351										352										353										354										355										356										357										358										359										360										361										362										363										364										365										366										367										368										369										370										371										372										373										374										375										376										377										378										379										380										381										382										383										384										385										386										387										388										389										390										391										392										393										394										395										396										397										398										399										400										401										402										403										404										405										406										407										408										409										410										411										412										413										414										415										416										417										418										419										420										421										422										423										424										425										426										427										428										429										430										431										432										433										434										435										436										437										438										439										440										441										442										443										444										445										446										447										448										449										450										451										452										453										454										455										456										457										458										459										460										461										462										463										464										465										466										467										468										469										470										471										472										473										474										475										476										477										478										479										480										481										482										483										484										485										486										487										488										489										490										491										492										493										494										495										496										497										498										499										500										501										502										503										504										505										506										507										508										509										510										511										512										513										514										515										516										517										518										519										520										521										522										523										524										525										526										527										528										529										530										531										532										533										534										535										536										537										538										539										540										541										542										543										544										545										546										547										548										549										550										551										552										553										554										555										556										557										558										559										560										561										562										563										564										565										566										567										568										569										570										571										572										573										574										575										576										577										578										579										580										581										582										583										584										585										586										587										588										589										590										591										592										593										594										595										596										597										598										599										600										601										602										603										604										605										606										607										608										609										610										611										612										613										614										615										616										617										618										619										620										621										622										623										624										625										626										627										628										629										630										631										632										633										634										635										636										637										638										639										640										641										642										643										644										645										646										647										648										649										650										651										652										653										654										655										656										657										658										659										660										661										662										663										664										665										666										667										668										669										670										671										672										673										674										675										676										677										678										679										680										681										682										683										684										685										686										687										688										689										690										691										692										693										694										695										696										697										698										699										700										701										702										703										704										705										706										707										708										709										710										711										712										713										714										715										716										717										718										719										720										721										722										723										724										725										726										727										728										729										730										731										732										733										734										735										736										737										738										739										740										741										742										743										744										745										746										747										748										749										750										751										752										753										754										755										756										757										758										759										760										761										762										763										764										765										766										767										768										769										770										771										772										773										774										775										776										777										778										779										780										781										782										783										784										785										786										787										788										789										790										791										792										793										794										795										796										797										798										799										800										801										802										803										804										805										806										807										808										809										810										811										812										813										814										815										816										817										818										819										820										821										822										823										824										825										826										827										828										829										830										831										832										833										834										835										836										837										838										839										840										841										842										843										844										845										846										847										848										849										850										851										852										853										854										855										856										857										858										859										860										861										862										863										864										865										866										867										868										869										870										871										872										873										874										875										876										877										878										879										880										881										882										883										884										885										886										887										888										889										890										891										892										893										894										895										896										897										898										899										900										901										902										903										904										905										906										907										908										909										910										911										912										913										914										915										916										917										918										919										920										921										922										923										924										925										926										927										928										929										930										931										932										933										934										935										936										937										938										939										940										941										942										943										944										945										946										947										948										949										950										951										952										953										954										955										956										957										958										959										960										961										962										963										964										965										966										967										968										969										970										971										972										973										974										975										976										977										978										979										980										981										982										983										984										985										986										987										988										989										990										991										992										993										994										995										996										997										998										999										1000										1001										1002										1003										1004										1005										1006										1007										1008										1009										1010										1011										1012										1013										1014										1015										1016										1017										1018										1019										1020										1021										1022										1023										1024										1025										1026										1027										1028										1029										1030										1031										1032										1033										1034										1035										1036										1037																			
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Gráficos de producción

2024	ABRIL	590,83	500
	MARZO	439,41	500
	FEBRERO	595,18	500
	ENERO	250,16	500
2025	DICIEMBRE		500
	NOVIEMBRE	371	500
	OCTUBRE	220	500
	SEPTIEMBRE	362	500
	AGOSTO	358	500
	JULIO	366	500
	JUNIO	511	500
	MAYO	185	500
	ABRIL	150	500
	MARZO	173	500
	FEBRERO	72	500
	ENERO	0	500
2026		326,93	500
		313,29	500
		307,37	500
		348,01	500
		469,25	500



Anexo 5.3 Ejemplo amenazas y vulnerabilidad riesgos críticos

Ejemplo Análisis de Amenaza y Vulnerabilidad Método Riesgos por Colores

La mina VALLE DE CORRALES, está ubicada en la vereda Reyes Paria del municipio de corrales, geológicamente es un bloque de explotación que esta delimitado por fallas y plegamientos de origen local que alteran la continuidad de los mantos explotables al igual que las concentraciones de gases. A continuación, se presentan las características de los mantos explotables y de operación minera.

Tipo	Carbón térmico
%Cenizas	5.72
% MV	44.61
%Azufre (S)	1
Poder calorífico BTU/lb	13203
Resistencia a la compresión simple promedio de las rocas	5.412 MPa
Rumbo-Buzamiento	N25°E / 70°NW
Humedad	Alta (presencia de agua subterránea)
Método de Arranque	Martillo neumático
	Forzada (Tambor ventilación)
Equipos	Malacates y ventiladores eléctricos no protegidos
Servicios mineros	Desagüe: bomba eléctrica sumergible automática Sostenimiento: Entibación (Puerta Alemana) Ventilación: Forzada, con circuito de ventilación definido.

Mediciones de gases promedio presentes en la mina

Gas	Concentración máx. medidas
CH ₄	3%
CO	0
CO ₂	0
H ₂ S	0.5 ppm



• SGSST • Plan de emergencia documentado • Equipos de medición de gases calibrados • Plan de ventilación documentado • No hay aforos de ventilación	• Brigada de emergencia • Brigadas de primeros auxilios
---	--

Una vez es implementada la metodología del análisis de amenazas, vulnerabilidad y riesgos por colores propuestos en la guía, se obtuvieron los siguientes resultados (ver anexo xxx)

1. **Amenazas:** se determinaron las siguientes amenazas con base en criterios Naturales, Geológicos, Técnicos-seguridad y concentración de gases y polvos.

RESULTADOS ANALISIS DE AMENAZAS		
AMENAZAS	EVENTOS	CALIFICACION
Naturales	Sismos	Probable
Geológicos	Yacimientos sedimentarios	Inminente
	Estructuras de falla y plegamientos	Probable
	Resistencia a la compresión simple de las rocas	Probable
	Factor Hidrogeológico	Posible
	Temperatura	Inminente
Concentración de gases y material particulado	CH ₄ , CO, H ₂ S, O ₂	Inminente
	Mina pulverulenta	Probable
Técnico y seguridad	Polvo de carbón	Inminente
	Factor de inertización	Probable
	Relación metano Oxígeno	Inminente
	Relación metano, Materia Volátil	Inminente
	método de arranque-LEL	Probable
	Equipo de medición de gases	Probable
	RETIE	Probable
	Plan de ventilación	Inminente

2. Análisis de Vulnerabilidad

RESULTADOS ANALISIS DE VULNERABILIDAD		
CRITERIO	CALIFICACION VULNERABILIDAD	CALIFICACION
Personas	1.39	MEDIO
Recursos	1.74	MEDIO
Sistemas y procesos	0.69	ALTO



3. Determinación del Nivel de Riesgo (Combinación de las amenazas con la vulnerabilidad)

RESULTADOS ANALISIS DE AMENAZAS		
AMENAZAS	EVENTOS	NIVEL DE RIESGO
Naturales	Sismos	MEDIO
Geológicos	Yacimientos sedimentarios	MEDIO
	Estructuras de falla y plegamientos	MEDIO
	Resistencia a la compresión simple de las rocas	MEDIO
	Factor Hidrogeológico	MEDIO
	Temperatura	MEDIO
Concentración de gases y material particulado	CH ₄ , CO, H ₂ S, O ₂	MEDIO
	Mina pulverulenta	MEDIO
Técnico y seguridad	Polvo de carbón	MEDIO
	Factor de inertización	MEDIO
	Relación metano Oxígeno	MEDIO
	Relación metano, Materia Volátil	MEDIO
	método de arranque-LEL	MEDIO
	Equipo de medición de gases	Probable
	RETIE	Probable
	Plan de ventilación	Inminente



IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS

ANÁLISIS DE AMENAZAS POR TAMOSFERAS VICIADAS O CONTAMINADAS						
AMENAZA		INTERNO	EXTERNO	FUENTE DE RIESGO	CALIFICACION	COLOR
Naturales	Sismos			Según el Sistema Geologico colombiano las zonas mineras donde se presentan mayor numero de sismos, según orden de criticidad: 1. Santander 2. Antioquia 3.Cundinamarca 4. Boyaca 6-.Tolima 7. Costa Pacifica 8. Norte de santander	Probable	
	tipos de yacimientos			Yacimientos sedimentarios: Concentración de gases producto de doscomposicion organica. El gas metano es la principal amenaza de este tipo de yacimientos, debido a su alto grado de peligrosidad(explosiones, deflagraciones y disminución del porcentaje oxigeno). Porosidad:10-30% Areniscas y carbonatos Permeabilidad:1-1000 mD alto fracturamiento	Inminente	 
Geologicos	Estructuras de fallas y plegamientos			Las estructuras de falla facilitan el transporte y liberación de gases que pueden afectar la atmosfera minera. Ademas los plegamientos como anticlinales o sinclinales pueden ser trampas de acumulacion de gases, que de acuerdo a su nivel fracturamiento aumenta o disminuye la permeabilidad y por ende la migracion de gases peligrosos	Probable	 
	Resistencia de las rocas			Rocas de respaldo de mineralizaciones con resistencias a la compresion entre 0,25- 5,0 Mpa, son catalogadas como de baja competencia, parametro que puede generar desprendimientos de rocas(Derrumbes) y por ende de gases peligrosos	Probable	
	factor Hidrogeologico			Transporte de gases peligrosos, en el agua subterranea generando desprendimiento subito en frentes de trabajo Permeabilidad > 10^-3 m/s Porosidad > 30% Velocidad > 1 m/dia Tasa de infiltracion 10 mm /hora	Probable	
	Temperatura			Profundidad de la explotacion en relación a su cota vertical. Profundidad > 700 mts Temperatura > 30°C HR>93% H. Absoluta > 1,2a mmHg Confort termico > 70	Probable	
	Concentración de gases y material particulado	Composicion quimica			Gas Metano CH4: Concentración 5%<=15%; Explosivo-Deflagrante >25% asfixiante.	Probable
				Monoxido de Carbono CO: concentraci3n > 0,005% ; toxico 12,5%<=74,2%; explosivo	Posible	
				Doxido de carbono CO2: Concentraci3n > 0,5%; asfixiante.	Inminente	
				Acido Sifhidrico H2S: Concentraci3n >1 ppm Irritante 1000 a 2000 ppm muerte	Probable	
				Oxigeno O2: Concentraciones < 19%; Asfixia. 3-5% Muerte	Probable	
Minas pulverulentas				Arranque del mineral con un contenido bajo o nulo de humedad(cualquier sistema de arranque), procesos de perforacion. Tama1o de partucula: > 30 ȳm afectaci3n toracica > 0,1 mg/m^3 disuelto en el aire	posible	
Polvo de carbon (nivel de explosividad)				La Concentraci3n de metano, acumulaci3n de polvo de carb3n y el nivel de inflamabilidad Metano entre 5-15% Materia Volatil > 46% Tama1os de partuculas <75ȳm Dureza del carbon < 36% PC> 7000Kc/Kg	Inminente	
	Factor de Inertizacion			Proceso de inertizaci3n o neutralizaci3n de polvo de carb3n en minas pulverulentas inflamables Menos del 50% de la labores mineras han sido inertizadas (Polvo inerte de caliza, con granulometria a malla 400, y contenido de Silice >3%)	Inminente	 
	Relacion CH4-O2			Nivel de explosividad Presencia de Metano y oxigeno en concentraciones tales que pueden dar origen a una explosi3n Metano CH4: 5-15% Oxigeno O2: 12-21% Temperatura de ionici3n: > 600°C	Inminente	



Técnico y seguridad	Relación CH ₄ - MV(Inflamabilidad)			Nivel de inflamabilidad. Concentración de Metano y el contenido de materia volátil presente en el carbón. Metano CH ₄ ; > 0,3% Materia Volatil MV; 14-16%; > 16%	Inminente	
	Metodo de Arranque y LEL			El metodo de extracción y la perturbación que este ejerce en la mineralización, puede generar desprendimientos de gases peligrosos que pueden estar dentro del limite inferior de explosividad. Mecanizado; Perforación y voladura, Minador, rozadora) LEL; 3,3-10%	Probable	
	Equipos de medición de gases			No contar con equipos de medición de gases certificados Antiexplosión. Equipos sin calibración adecuada Falta de capacitación en el manejo y lectura correcta de las mediciones. no se hace registro de las mediciones Monitoreo y medicion deficiente de acuerdo al nivel de grisutuosidad de la mina	Probable	
	Instalaciones Electricas subterranas			Condiciones de las Instalaciones eléctricas y equipos electricos subterranos, como fuente de ignición de una explosión. Instalaciones eléctricas sin implementación de la norma tecnica RETIE. Equipos y maquinaria sin certificación Antiexplosion (Ex)	Inminente	
	Plan de ventilación			No contar con un plan de ventilación en la mina, o no implementarlo de manera adecuada, aumenta la probabilidad de ocurrencia de un accidente fatal calculo de caudales de aire sin tener en cuenta el personal/turno, la maquinaria y equipos Caudal de aire sin la velocidad suficiente para diluir atmosferas viciadas o contaminadas. Usencia de aforos de ventilación No hay programas de mantenimiento de maquinaria y equipo	Probable	



IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS / V Persona

Puntos Vulnerables	Respuestas			CALIFICACION	OBSERVACIONES
1. Gestion Organizacional	SI	NO	PARCIAL		
¿La organización cuenta con un SGSST donde se incluya un Política donde se exprese el compromiso en prevenir y prepararse para afrontar una emergencia?	x			1	Se tiene política de SST publicada
¿Se ha conformado un comité de emergencias?	x			1	
Existe personal de la mina que sea socorredor certificado?	x			1	
El Comité de Emergencias tiene funciones asignadas y respaldadas por la alta gerencia		x		0	
La organización ha realizado previamente Análisis de Amenazas? o estudios sobre riesgos y pérdidas que generaría?		x		0	
La organización cuenta con un Plan de Prevención y Atención de Emergencias y de Evacuación documentado y aprobado por la alta gerencia?			x	0.5	SE tiene documentado pero no se implementa
Existe presupuesto asignado para la implementación del Plan de Prevención y Atención de Emergencias?		x		0	
¿Se ha creado la brigada de emergencias?			x	0.5	se tienen parcialmente falta la de contraincendios
¿Se ha designado otros grupos de apoyo como Coordinadores de Evacuación?		x		0	
¿Los empleados han adquirido responsabilidades específicas en caso de emergencias?			x	0.5	se tienen las funciones documentadas
¿Se ha implementado procedimientos para realizar inspecciones a las áreas para identificar condiciones inseguras que puedan generar emergencias?			x	0.5	Se tienen procedimientos pero no se implementan
¿Se ha implementado procedimientos para realizar inspecciones a los equipos utilizados en emergencias?	x			1	1 vez por semestre
Existe programa de calibración a equipos de medición de gases, programa de mantenimiento de maquinas y equipos			x	0.5	Se hacen calibraciones por fabricante y se lleva llevan registros
¿Se tiene convenio con entidades externas para la atención de emergencias?		x		0	la atención primaria se hace en el puesto de salud del municipio
¿Se tiene identificado el personal por turno, contratistas y demas personas relacionadas con la operación minera subteranea?	x			1	Registro de ingreso a la mina
Existen puntos de encuentro internos y externos ?			x	0.5	unicamente externos
Los puntos de encuentro están libres de posibles riesgos para las personas?		x		0	esta obstaculizado por madera y desechos.
Se ha designado posibles lugares para establecer un P.C? (Puesto de Comando) o una Sala de Crisis?		x		0	
Se han designado lugares para establecer un A.C.V (Área de Clasificación de Víctimas (pacientes)).		x		0	
La Alta Gerencia hace revisión periódica del plan de emergencias?			x	0.5	
PROMEDIO GESTION ORGANIZACIONAL				0.425	
2. Capacitación y Entrenamiento					
¿Los empleados conocen el plan de emergencias y de evacuación, saben auto protegerse?			x	0.5	El personal operativo no lo conoce
¿Los contratistas y partes interesadas conocen el plan de emergencias y de evacuación, saben auto protegerse?		x		0	
¿La Brigada de emergencias ha recibido entrenamiento prevención y control de emergencias?			x	0.5	una sola vez desde que se creo
¿La Brigada de emergencias ha recibido entrenamiento en primeros auxilios básicos?	x			1	
¿La Brigada de emergencias ha recibido entrenamiento en prevención y control del fuego?		x		0	
¿La Brigada de emergencias ha recibido entrenamiento en rescate básico?	x			1	
La brigada de emergencias ha sido capacitada para responder ante emergencia por conatos de incendios?	x			1	
Se ha capacitado a todo el personal en temas relacionados con atmosfera viciada o contaminadas, los efectos a la salud y los controles de mitigacion adecuados.	x			1	
¿Los coordinadores de evacuación han sido capacitados y conocen sus funciones?		x		0	
¿Existen programas administrativos para el control de tareas de alto riesgo?	x			1	se tienen procedimientos documentados pero no se implementan
¿El personal se encuentra capacitado en trabajos de alto riesgo?		x		0	
¿Se cuenta con manuales, folletos como material de difusión en temas de prevención y control de emergencias?		x		0	
¿Se ha hecho divulgación de los puntos de encuentro internos, externos y los puntos de encuentro alternos?			x	0.5	unicamente los puntos de superficie
¿Se han hecho simulacros en el último año?				por favor escoja una opción	
¿La alta gerencia tiene conocimiento de la evaluación de los simulacros de evacuación y promueve acciones?			x	0.5	
PROMEDIO CAPACITACION Y ENTRENAMIENTO				0.466666667	
3. Gestion de Seguridad					
Existen distintivos para el Comité de Emergencias, Puesto de comando, Área de Concentración de Víctimas, y demás áreas a establecer de acuerdo con la metodología Sistema Comando de Incidentes?		x		0	
¿Existen distintivos para la brigada?	x			1	
¿Existen distintivos para los coordinadores de evacuación?				por favor escoja una opción	
¿Existe dotación Básica para la atención de emergencias para cada miembro de la brigada?			x	0.5	esta incompleta y algunas en mal estado
¿El personal cuenta con elementos de protección y dotación personal adecuados, de acuerdo con la actividad de alto riesgo que desarrolle?	x			1	Autorescatador pero los trabajadores ni lo portan durante la aoperación
¿Existe equipos de monitoreo que permitan evaluar el nivel de riesgo antes de realizar la actividad (Multidetector de gases, sistemas de monitoreo continuo?	x			1	4 multidetectores marca Dragger
¿Existen herramientas especializadas para la ejecución de la labor? (Ej. Cuerdas, trípode, auto contenido, Autorescatador etc.)			x	0.5	
¿Se tienen implementos básicos de primeros auxilios adicionales a los de la brigada en caso de requerirse?		x		0	
PROMEDIO SUMINISTRO DOTACIONES				0.5	



IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS / V Recursos

Puntos Vulnerables	Respuestas			CALIFICACION	OBSERVACIONES
	SI	NO	PARCIAL		
1. Gestion diagnostico mineros					
¿Se cuenta con circuito ventilación forzada ?	x			1	
¿Se almacenan y/o manipulan bajo tierra líquidos inflamables o combustibles?	x			1	gasolina y lubricantes para malacate
¿Se almacena bajo tierra madera?			x	0,5	no se retira los residuos de madera
¿ se tienen instalaciones electricas de alta tension (440 v)	x			1	
¿ se hace bombeo de agua en la mina?	x			1	Bomba sumergible protegida
¿Se tienen equipos electricos certificados Antiexplosión ?			x	0,5	no hay certificación
¿Las instalaciones eléctricas estan certificadas según norma RETIE?		x		0	
¿Existen planos electricos de la mina, y de ubicación de equipos?		x		0	
¿Se utilizan equipos de combustion dentro de la mina ?		x		0	
¿Existen zonas abandonadas en la mina sin aislamiento?			x	0,5	Hay una zona derrumbada que no esta aislada
¿Se han presentado conatos de incendio?		x		0	
¿Realizan procesos de neutralización de polvo de carbón en todas las labores de la mina?		x		0	La mina tiene presencia de agua subterrneas
¿La mina tiene señalizada internamente la ruta de evacuación?				por favor escoja una opcion	
¿Se tiene el plano de riesgo, esta publicado?			x	0,5	se tiene, pero esta desactualizado y no esta publicado
¿Se realizan trabajos en alturas?			x	0,5	el malacatero al momento del descargue del mineral en la tolva
¿Se realizan trabajos no rutinarios que contienen riesgos criticos(soldadura, perforaciones prospectivas, mantenimiento de equipos electricos etc.)?			x	0,5	Trabajos electricos y de soldadura por un tercero
PROMEDIO GESTION DE DIAGNOSTICO MINERO				0,4375	
2. Gestion labores mineras					
¿Se realizan inspecciones para evaluar los riesgos por atmosferas en la mina y el estado del sostenimiento en especial de las vias principales de ventilación?	x			1	
¿ se tienen identificada las zonas de mayor criticidad por presencia de gases nocivos o toxicos, hay planos de zonificación.	x			1	
¿ Se tienen una o mas salidas de emergencia de la mina, el personal las conoce	x			1	
¿Se tiene un programa para la inertización del de polvo de carbon en las labores mineras)?		x		0	
¿Se hace mantenimiento a las vias de ventilación principal de la mina?			x	0,5	
¿existen fallas o plegamientos en las zonas de explotación?	x			1	
¿Hay presencia de agua subterranea que de origen a debilitamiento de las rocas o la mineralización?	x			1	
¿Las rutas de evacuación se encuentran en buen estado, estan señalizadas?			x	0,5	Estan en buen estado pero falta señalización
¿Las salidas de ememergerencia se encuentran disponibles sin obstaculos?	x			1	
¿Las secciones de las vias cumplen con lo establecido en la norma(3,2 m2 como minimo)?				por favor escoja una opcion	
PROMEDIO GESTION LABORES MINERAS				0,7	
3. Gestion suministro de Equipos					
¿Se cuenta con algún sistema de alarma Sonora, luminica u otra, para usar en caso de emergencia?	x			1	luminica y sonora
¿La Alarma se escucha fuerte y en todas las áreas?, el personal tanto interno como externo conoce el sistema			x	0,5	se escucha pero aun no se codifica
¿Se cuenta con un sistema de comunicaciones interno, y es protegido antiexplosión		x		0	
¿Se tiene un sistema contraincendios(Extintores).	x			1	Estan debidamente calibrados y vigentes
¿Se cuenta con extintores y en cantidades suficientes?	x			1	estan ubicados en todos los equipos electricos que hay en la mina
¿Están adecuadamente ubicados, instalados y señalizados?	x			1	
¿Se cuenta con sistemas automáticos de detección de incendios?		x		0	
¿Se cuenta con sistemas automáticos de control de incendios?		x		0	
¿Se cuenta con una planta de emergencia que asegure el suministro permanente del caudal de aire necesario para la operación de la mina?		x		0	
¿Se encuentran señalizadas las redes internas de la mina de acuerdo al fluido que transportan?		x		0	
¿Se cuenta con camillas asignadas?	x			1	
¿Se cuenta con botiquines?	x			1	Estan incompletos
¿Se cuenta con sistema de monitoreo de gases pemanente	x			1	Los trabajadores que estan en la actividad de arranque de carbon cuentan con multidetector
¿Sistemas de control de acceso de personal, visitantes, contratistas?	x			1	
PROMEDIO GESTION SUMINISTRO DE EQUIPOS				0,6071428571	



IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS / V Sistemas y procesos

Puntos Vulnerables	Respuestas			CALIFICACION	OBSERVACIONES
	SI	NO	PARCIAL		
1. Gestion de Servicios					
Se tiene Plan de ventilación, y se implanta adecuadamente ?			x	0,5	
se realizan aforos de ventilacion en la mina?		x		0	
El cudal suministrado es suficiente de acuerdo a la operación minera que se realiza?			x	0,5	
Se tiene estudios geomecanicos en la mina?	x			1	
Se tiene documentados los procedimientos de atención de emergencia, el personal los conoce			x	0,5	
¿Se cuenta con un software especializado para el control de ventilación e incendios (Ventsim) ?		x		0	
Se cuenta con servicio de comunicaciones en superficie?		x		0	
PROMEDIO GESTION DE SERVICIOS				0,3571428571	
2. Gestion de Sistemas alternos				por favor escoja una opción	
¿Se cuenta con bombas hidroneumáticas o bombas respaldadas por generador alterno?		x		0	
¿Se cuenta con tanques de reserva de agua?		x		0	
¿Se cuenta con un sistema de comunicación diferente al público?		x		0	
se tienen los numeros telefonicos actualizados de entidades externas de apoyo para atención de la emergencia (ANM, EPS, IPS, Cruz Roja, Defensa civil, etc.?			x	0,5	Incompleto
Se cuenta con ambulancia propia o tiene convenios de ambulancias		x		0	
¿Se cuenta con un sistema de iluminación de emergencia?		x		0	
PROMEDIO GESTION SISTEMAS ALTENOS				0,08333333333	
3. Gestion de Recuperación				por favor escoja una opción	
¿Se cuenta con algún sistema de seguro para los funcionarios diferente de la seguridad social?		x		0	
¿Están asegurados los equipos y todos e infraestructura general de la mina ? ¿Se conocen los montos y coberturas de las pólizas?		x		0	
El personal esta afiliado a ARL, de acuerdo al nivel de riesgo	x			1	
¿Está asegurada la infraestructura contra incendio? ¿Se conocen los montos y coberturas de las pólizas?		x		0	
¿Se conoce como proceder con las aseguradoras luego de un desastre?			x	0,5	
¿Hay políticas de trabajo post emergencia con todo el personal?		x		0	
PROMEDIO GESTION DE RECUPERACIÓN				0,25	



IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS / Consolidado

ANÁLISIS DE AMENAZAS					ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD															NIVEL DEL RIESGO	
AMENAZA			CAUSADOR	CONSECUENCIA	PERSONAS					RECURSOS					SISTEMAS Y PROCESOS					RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO	INTERPRETACIÓN
Naturales	Evento Natural	Sismos	Probable		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
Geológicos	Tipo de Yacimiento	Yacimientos Sedimentarios	Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Estructuras de falla y plegamientos		Probable		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Resistencia de la roca		Probable		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Factor hidrogeológico		Posible		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Temperatura		Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
Concentración de gases y material particulados	Composición química	Metano CH ₄	Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
		Dioxido de Carbono CO ₂	Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
		Acido Sulfhídrico H ₂ S	Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
		Oxígeno O ₂	Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Minas Pulverulentas		Probable		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
Técnico y seguridad	Polvo de carbon (Nivel de explosividad)		Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Factor de Inertización		Probable		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Relación metano-Oxígeno		Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Relación metano- Materia Volátil MV		Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Metodo de arranque - Limite inferior de explosividad LEL		Probable		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Equipos de medición de gases		Probable		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Instalaciones eléctricas subterráneas		Probable		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO
	Plan de ventilación		Inminente		0,43	0,47	0,50	1,39		0,44	0,70	0,61	1,74		0,36	0,08	0,25	0,69			MEDIO



IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS / Valoración de riesgo

1, IDENTIFICACION DE AMENAZAS			
Naturales	Geologicos	Concentración de gases y material particulado	Tecnico y de seguridad
Movimientos sísmicos	Tipos de Yacimientos Estructuras de falla y plegamientos Resistencia de las Rocas Factor Hidrogeologico Temperatura	Composición química Minas Pulverulentas	Polvo de carbon (nivel de explosividad) Factor de inertización uso de explosivos Relacion CH ₄ -O ₂ Relacion CH ₄ - Materia Volatil MV Metodo de arranque y limite inferior de explosividad (LEL) Equipos de medicion de gases Instalaciones electricas subterranas Plan de ventilación

2. ELEMENTOS Y ASPECTOS DE VULNERABILIDAD		
PERSONAS	RECURSOS	SISTEMAS Y PROCESOS
* Gestion organizacional * Capacitacion y entrenamiento * Gestión de seguridad	*Gestion diagnostico minero * Gestion de labores mineras * Gestión de suministro de equipos	* Gestión de Servicios * Gestión de Sistemas alternos * Gestión de Recuperacion

3, INTERPRETACION DE LA VULNERABILIDAD POR CADA ASPECTO	
CALIFICACION	CONDICION
BUENO	Si el numero de respuestas se encuentra dentro el rango 0,68 a 1
REGULAR	Si el numero de respuestas dse encuentra dentro el rango 0,34 a 0,67
MALO	Si el numero de respuestas se encuentra dentro el rango 0 a 0,33

4, INTERPRETACION DE LA VULNERABILIDAD POR CADA ELEMENTO		
RANGO	INTERPRETACION	COLOR
0,0 - 1,00	ALTA	ROJO
1,01 - 2,00	MEDIA	AMARILLO
2,01 - 3,00	BAJA	VERDE



Anexo 8.1 Listas Verificación Planeamiento Ambiental 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 a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se identificaron los residuos que se generarán en las diferentes etapas del proyecto?					
¿Se clasificaron los residuos en ordinarios, aprovechables, peligrosos y especiales?					
¿Se estimó la cantidad aproximada de residuos a generar?					
¿Se identificaron residuos con potencial de contaminar el suelo o el agua?					

1.2. Planeamiento de la infraestructura

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron áreas para el almacenamiento temporal de residuos?					
¿Las áreas fueron ubicadas fuera de rondas hídricas y zonas ambientalmente sensibles?					



¿Se contemplaron superficies impermeables para residuos peligrosos?					
¿Se incorporaron medidas para contener derrames y lixiviados?					

1.3. Gestión y aprovechamiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron procedimientos para la separación en la fuente?					
¿Se identificaron gestores autorizados para residuos peligrosos?					

1.4. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron indicadores, registros y responsables para la gestión de residuos?					
¿Se estableció la frecuencia de inspección y acciones de mejora?					



2. Planeamiento del recurso hídrico

2.1. Caracterización del área

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se identificaron las fuentes hídricas superficiales presentes en el área?					
¿Se identificaron nacimientos, acuíferos o zonas de recarga hídrica?					
¿Se identificaron materiales potencialmente generadores de drenaje ácido de mina (DAM)?					
¿Se evaluó el comportamiento hidrológico y las zonas inundables?					

2.2. Planeamiento y diseño

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definió un sistema de manejo de aguas limpias y aguas de contacto?					
¿Se incorporaron estructuras para el control de sedimentos?					
¿Se definieron medidas para prevenir la generación de drenaje ácido?					



¿Se incorporó la recirculación del agua cuando es técnicamente viable?					
--	--	--	--	--	--

2.3. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron puntos y parámetros para el monitoreo de la calidad del agua?					
¿Se estableció la frecuencia de seguimiento?					

3. Planeamiento de emisiones atmosféricas

3.1. Caracterización

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se identificaron las principales fuentes potenciales de emisión de material particulado y gases?					
¿Se evaluó la dirección predominante del viento?					
¿Se identificaron receptores sensibles cercanos?					

3.2. Planeamiento y diseño

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron medidas para el control de polvo?					



¿Se evaluó la ubicación de acopios y vías internas para reducir emisiones?					
¿Se incorporó un programa de mantenimiento preventivo de maquinaria?					

3.3. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron inspecciones periódicas e indicadores de seguimiento de emisiones?					

4. Planeamiento de biodiversidad y ecosistemas

4.1. Caracterización

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se identificaron ecosistemas estratégicos, coberturas vegetales y áreas ambientalmente sensibles?					
¿Se identificaron especies de flora y fauna de importancia ecológica?					
¿Se delimitaron rondas hídricas y áreas de exclusión?					



4.2. Planeamiento y diseño

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se minimizaron las áreas a intervenir?					
¿Se definieron medidas para la protección de flora y fauna?					
¿Se planificó la restauración progresiva con especies nativas?					

4.3. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se definieron indicadores para evaluar la restauración y el estado de la biodiversidad?					

5. Planeamiento del beneficio

5.1. Localización y diseño

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se evaluaron alternativas de ubicación de la planta de beneficio?					
¿La localización evita áreas ambientalmente sensibles y zonas de riesgo?					
¿Se diseñó el sistema de drenaje y manejo de aguas?					



5.2. Medidas ambientales

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se planificó el control de polvo y el manejo de residuos del beneficio?					
¿Se definieron áreas para almacenamiento temporal de materiales?					

5.3. Seguimiento

Aspecto a verificar	Sí	No	NA	Evidencia	Observaciones
¿Se establecieron procedimientos e inspecciones periódicas para verificar el funcionamiento del beneficio?					



Anexo 8.2 Implementación de tecnologías limpias en minería de carbón metalúrgico en Colombia

IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS EN MINERÍA DE CARBÓN METALÚRGICO EN COLOMBIA

INTRODUCCIÓN

La minería de carbón metalúrgico constituye una actividad estratégica para el desarrollo económico regional y nacional, donde esta actividad representa una fuente fundamental de empleo, encadenamientos productivos y aporte a la industria siderúrgica. No obstante, los desafíos ambientales asociados a los procesos de extracción, beneficio y transformación del carbón exigen la adopción de modelos productivos más eficientes, responsables y sostenibles.

En el contexto actual de transición hacia economías bajas en carbono y de fortalecimiento de estándares ambientales, sociales y de gobernanza, el sector minero colombiano está llamado a integrar tecnologías limpias dentro de sus procesos productivos, como mecanismo para reducir impactos ambientales, optimizar el uso de recursos naturales, mejorar la eficiencia energética y fortalecer la licencia social para operar.

La presente Guía de Buenas Prácticas desarrolla el presente componente para una orientación sobre un posible desarrollo estratégico para la implantación y desarrollo de tecnologías limpias en cada una de las etapas del proceso; en la Minería de Carbón Metalúrgico tiene como propósito orientar a las unidades productivas en la adopción progresiva de soluciones tecnológicas que permitan minimizar emisiones atmosféricas, optimizar la gestión del recurso hídrico, mejorar el manejo de residuos y estériles, reducir la huella de carbono y promover procesos de producción más limpia.

Finalmente, esta guía pretende convertirse en una herramienta práctica para el mejoramiento continuo del desempeño ambiental del sector, contribuyendo a consolidar una minería de carbón metalúrgico técnica, responsable y comprometida con el desarrollo sostenible del territorio.

MARCO CONCEPTUAL

En el desarrollo de la presente Guía, y particularmente en sus componentes Minero, Geológico, Social y Ambiental, se identificaron y evaluaron impactos de carácter cuantitativo y cualitativo, con el propósito de reconocer los efectos más relevantes asociados al aprovechamiento de los recursos naturales. Este análisis permite establecer medidas orientadas a prevenir, mitigar, controlar, reducir y, cuando sea necesario, compensar dichos impactos, promoviendo una gestión integral y sostenible de la actividad minera.



La implementación de tecnologías limpias en la minería de carbón metalúrgico busca:

Figura 1. Reducción de Impactos para la Implementación de Tecnologías Limpias dentro de un proceso de Minería de Carbón Metalúrgico



Fuente: El estudio

De acuerdo a lo anterior, se establecieron unos componentes para la implementación de las tecnologías limpias dentro del proceso de minería de Carbón metalúrgico, tal como se relaciona a continuación:

- **Gestión eficiente del recurso hídrico**

Uno de los impactos ambientales más representativos en el desarrollo de un proyecto minero, particularmente en la minería de carbón metalúrgico, corresponde a los vertimientos de aguas residuales industriales generadas durante el proceso productivo. En este sentido, resulta fundamental promover e implementar sistemas de recirculación y reutilización de las aguas provenientes de la operación minera, con el fin de reducir la carga contaminante y el consumo de recurso hídrico.

Figura 2. Proceso de Recirculación de las aguas mineras en la implementación de Tecnologías Limpias

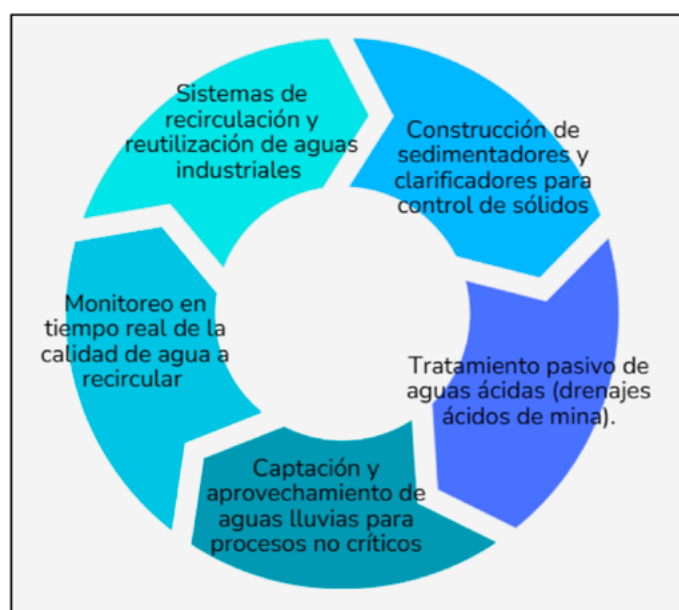


Fuente: el estudio



Lo anterior debe desarrollarse en cumplimiento de lo establecido en la Resolución 1256 de 2021, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, fortaleciendo así la gestión eficiente del recurso hídrico y el desempeño ambiental del proyecto minero. El objeto de un proceso de recirculación el cual se cataloga como una alternativa de tecnología limpia debe tener en cuenta las siguientes medidas:

Figura 3. Etapas de la Recirculación de las aguas mineras en la implementación de Tecnologías Limpias



Fuente: el estudio

En el marco del proceso de recirculación de aguas, y con el propósito de integrar la gestión del recurso hídrico con el control y la reducción de emisiones atmosféricas, se plantea su aplicación transversal en todas las etapas del proyecto minero: exploración, explotación, transporte, beneficio, transformación y disposición final. En este contexto, el uso eficiente del agua recirculada se convierte en una herramienta estratégica para la mitigación del material particulado, particularmente mediante actividades de humectación de vías, control de polvo en tolvas y patios de acopio, así como en los procesos de cargue y descargue.

En consecuencia, el siguiente apartado desarrolla las medidas orientadas al control y reducción del material particulado, como parte integral de las buenas prácticas ambientales en la minería de carbón metalúrgico.

- **Gestión para el Control y reducción de emisiones atmosféricas**

En el marco de la gestión para el control y la reducción de emisiones atmosféricas en la minería de carbón metalúrgico, las principales fuentes de impacto se concentran en la etapa de beneficio y transformación del mineral, especialmente durante el proceso de producción de coque y sus derivados.

En atención a lo anterior, la implementación de tecnologías limpias en esta fase productiva debe orientarse a la adopción de medidas técnicas y operativas que permitan minimizar la generación de emisiones, optimizar los procesos de combustión y mejorar la eficiencia ambiental de las plantas de coquización.



A continuación, se relacionan las principales medidas para la implementación de tecnologías limpias en esta etapa del proceso.

Figura 4. Medidas para el Control de Emisiones Atmosféricas en el procesos de beneficio y transformación para Carbón Metalúrgico



Fuente: el estudio

- **Gestión para la Eficiencia energética y reducción de huella de carbono**

La gestión de la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono constituyen pilares fundamentales para la modernización y sostenibilidad de la minería de carbón metalúrgico. Dado que los procesos de exploración, explotación, beneficio, transformación y transporte del mineral demandan un alto consumo energético, resulta prioritario implementar estrategias orientadas a optimizar el uso de la energía y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En este contexto, la adopción de tecnologías limpias, la transición progresiva hacia fuentes energéticas más eficientes, la optimización de equipos y sistemas operativos, así como la medición y gestión de la huella de carbono organizacional, permiten mejorar el desempeño ambiental del proyecto minero, reducir costos operativos y fortalecer la competitividad del sector frente a estándares nacionales e internacionales. La presente sección desarrolla los lineamientos y medidas orientadas a promover una gestión energética integral, alineada con los principios de producción más limpia y con los compromisos de mitigación del cambio climático aplicables al sector minero colombiano.



En relación con la presente gestión se proponen las siguientes estrategias:

Figura 5. Medidas para la Eficiencia energética y reducción de huella de carbono



Fuente: el estudio

Gestión para la Innovación en Beneficio y Transformación del Carbón Metalúrgico

La etapa de beneficio y transformación del carbón metalúrgico representa uno de los eslabones más estratégicos dentro de la cadena productiva, dado que en ella se define la calidad final del producto y su competitividad en los mercados nacionales e internacionales. En este contexto, la innovación tecnológica se convierte en un factor determinante para optimizar los procesos de coquización, mejorar la eficiencia operativa y reducir los impactos ambientales asociados. La modernización de hornos, la recuperación y aprovechamiento de gases, la implementación de sistemas de lavado más eficientes y el control automatizado de procesos permiten no solo incrementar la productividad, sino también fortalecer el desempeño ambiental y energético de las plantas.

La adopción de tecnologías limpias en esta etapa contribuye a la reducción de emisiones, al aprovechamiento de subproductos, a la optimización del consumo de recursos y al cumplimiento de estándares ambientales cada vez más exigentes, consolidando una industria del coque más eficiente, competitiva y sostenible. De acuerdo a lo anterior, se proponen buenas prácticas para procesos de Innovación en Beneficio y Transformación del Carbón Metalúrgico.



Figura 6. Medidas para la Innovación en Beneficio y Transformación del Carbón Metalúrgico



Fuente: el estudio



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 “plasmarse” los manejos para cada actividad exploratoria.	Desde exploración, el instrumento minero exige que el proyecto ya incorpore manejo ambiental y permisos cuando aplique.
	Formato A / Programa mínimo exploratorio	El titular “deberá implementar las medidas de manejo que se requieran, para cada una de ellas debe señalar cuáles medidas de manejo ambiental va a desarrollar y estimar los costos para dicha actividad”, y ese señalamiento debe estar acorde con el Formato A y las Guías Minero Ambientales vigentes. El formato incluye de manera expresa “Aspectos Ambientales Etapa de Exploración”, entre ellos: “Selección óptima de Sitios de Campamentos y Helipuertos, Manejo de Aguas Lluvias, Manejo de Aguas Residuales Domésticas, Manejo de Cuerpos de Agua, Manejo de Material Particulado y Gases, Manejo del Ruido, Manejo de Combustibles, Manejo de Taludes, Manejo de Accesos, Manejo de Residuos Sólidos, Adecuación y Recuperación de Sitios de Uso Temporal, Manejo de Fauna y Flora, Plan de Gestión Social, Capacitación de Personal, Contratación de Mano de Obra no Calificada, Rescate Arqueológico, Manejo de Hundimientos”.	El TDR no solo pide “considerar” lo ambiental: exige identificar medidas, costos e ítems concretos de manejo en exploración.
	PTO	El PTO debe incluir “Plan de Obras de Recuperación geomorfológica, paisajística y forestal del sistema alterado” y “Plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes y de la infraestructura”. También indica que “Simultáneamente con el Programa de Trabajos y Obras deberá presentarse el estudio que demuestre la factibilidad ambiental de dicho programa” y que “sin la aprobación expresa de este estudio y la expedición de la Licencia Ambiental correspondiente no habrá lugar a la iniciación de los trabajos y obras de explotación minera”.	La aprobación minera del PTO queda ligada a la factibilidad ambiental y a la licencia.
	EIA / Licencia / cierre	“No podrán iniciarse los trabajos y obras de explotación minera sin la aprobación expresa del Estudio de Impacto Ambiental y la expedición de la Licencia Ambiental”. El EIA debe contener: “los impactos... con su correspondiente evaluación; los planes de prevención, mitigación, corrección y compensación...; las medidas específicas que se aplicarán para el abandono y cierre de los frentes de trabajo y su plan de manejo; las inversiones necesarias y los sistemas de seguimiento”. Además, “En todos los casos de terminación del título, el beneficiario estará obligado a hacer las obras y poner en práctica todas las medidas ambientales necesarias para el cierre o abandono”.	El instrumento minero remite de manera expresa al contenido del instrumento ambiental y al cierre.
	Reglas generales del proyecto	“Para todas las obras y trabajos de minería... se incluirán... la gestión ambiental y sus costos”. “No podrán ejecutarse trabajos y obras... en zonas... de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables o del ambiente”. Si se incorporan otros minerales y los impactos son diferentes, se debe pedir “la correspondiente ampliación o modificación de la Licencia Ambiental”.	El alcance minero debe coincidir con el alcance y restricciones del instrumento ambiental.
Programa de Trabajos y Obras Diferencial (PTOD). Resolución 10 de 2024	PTOD	En la descripción del proyecto se deben reportar “las restricciones y condiciones ambientales, sociales o de otra índole” e “informar si el proyecto minero cuenta con Licencia Ambiental Temporal o indicar el estado del trámite”.	El PTOD obliga a declarar la condición ambiental del proyecto desde el inicio del documento técnico.
	Topografía / línea base física	La topografía regional debe “Identificar cuerpos de agua y aspectos fisiográficos relevantes”; la topografía local sirve para “el cálculo de volumen de material a remover (en explotación o en recuperación)”. Además, deben referenciarse “drenajes, cuerpos de agua”, “quebradas”, “botaderos de estéril o escombreras”, etc.	La línea base del PTOD incorpora variables físicas que luego se conectan con manejo ambiental, drenajes y recuperación.
	Hidrología / dinámica fluvial / restricciones ambientales	El documento exige análisis de “Precipitaciones y caudales”. Para materiales de arrastre o depósitos de placer, el diseño minero debe considerar “morfología del río, zonas de agradación, régimen de precipitaciones, régimen de caudales y restricciones ambientales”.	Aquí la coherencia con el instrumento ambiental se da sobre todo en agua, cauce y restricciones del área.
	Manejo y control de aguas	“Deberá indicar el manejo de las aguas subterráneas y superficiales, rutas de evacuación, estaciones de bombeo, canales perimetrales, plantas de tratamiento, reservorios, y demás sistemas de control de aguas”. También pide diseño, cálculos y “plano de manejo de aguas”.	El diseño minero debe quedar alineado con el manejo hídrico del proyecto.
	Manejo y disposición de estériles / suelo orgánico	“De requerirse áreas para disponer suelo orgánico, se debe presentar la descripción, la localización, el diseño y el cálculo de los volúmenes mensuales de suelo a depositar”. Para estériles, se debe presentar “descripción, localización, diseño, capacidad y vida útil del botadero”, con soporte en geomorfología, hidrología y estudio geotécnico.	El PTOD pide que los componentes típicamente ambientales queden definidos dentro del diseño minero.
	Plan de cierre	El plan de cierre debe enfocarse hacia “la recuperación de la estabilidad física, estabilidad química, la recuperación del uso del territorio... y la protección del medio ambiente”. Se deben describir “las actividades e impactos generados” y presentar un plan que contemple “actividades específicas de cierre, recuperación, restauración y rehabilitación del sistema alterado, asociando los costos”. Además, “debe presentarse de acuerdo a lo estipulado en las Guías Minero-Ambientales”.	El PTOD articula de forma expresa cierre minero, recuperación del sistema alterado y guías minero-ambientales.



Plan de Trabajos y Obras Complementario (PTOC). Resolución 414 de 2014	PTOC	El PTOC "debe suministrar la base técnica, logística, económica y comercial, en concordancia con el medio ambiente" y "debe ser adaptado... a la producción y demás especificaciones técnicas y ambientales de cada proyecto minero".	El PTOD en algunos capítulos, impone concordancia expresa con el componente ambiental.
	Topografía / componentes del área	En el mapa topográfico deben referenciarse "quebradas" y "botaderos de estéril, patios de acopio". Para cielo abierto también pide "botaderos de superficie y retrolleados, canales y diques de protección de avenidas".	El PTOC incorpora varios componentes físicos y de control que luego deben corresponder con el PMA.
	Plan de cierre y abandono	El documento es muy expreso: el subcontratista/concesionario debe presentar el "plan de obras de cierre de la explotación y abandono de los montajes y de la infraestructura, con el cronograma y presupuesto proyectado". Ese plan "deberá ser elaborado e incorporado al proyecto minero desde las fases de desarrollo y explotación minera y deberán ejecutarse de manera 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 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 8.4 Paso a paso planteado en la identificación de impactos ambientales.

No.	Paso	Descripción	Herramientas / Técnicas	Producto	Responsable / Observaciones
1	Definición del proyecto y límites	Delimitar actividades, fases, infraestructura y área de influencia (directa e indirecta).	Revisión documental, planos, visitas de campo.	Ficha del proyecto y mapa de AAI (área de influencia).	Equipo técnico / Inicio del EIA
2	Inventario ambiental	Recolección de datos abióticos, bióticos y socioeconómicos.	Muestreos, inventarios, SIG, entrevistas, fuentes secundarias.	Inventario temático (suelo, agua, biodiversidad, comunidades).	Equipo multidisciplinario
3	Identificación de acciones y factores	Listar acciones del proyecto (causas) y factores ambientales (efectos).	Listas de chequeo, diagramas de flujo.	Listado de actividades y factores críticos.	Técnico ambiental
4	Matriz de interacción (identificación)	Cruzar actividades vs factores para identificar impactos potenciales.	Matriz causa-efecto (Conesa).	Matriz de identificación (impactos preliminares).	Equipo técnico
5	Caracterización de impactos (predicción)	Describir cómo cambiará cada factor (magnitud, extensión, duración, probabilidad).	Modelos sencillos, experiencia comparada, SIG.	Fichas de predicción por impacto.	Especialistas (hidrología, ecología, socioecon.)
6	Evaluación y valoración	Valorar importancia (significancia) integrando criterios (magnitud, extensión, reversibilidad, probabilidad).	Escalas semicuantitativas, índice de significancia.	Tabla de valoración y ranking de impactos.	Equipo técnico con jefatura
7	Identificación de impactos acumulativos/sinérgicos	Analizar interacción entre impactos y con otros proyectos/actividades.	Matrices de interacción entre impactos, análisis territorial.	Informe de impactos acumulativos y escenarios.	Equipo estratégico
8	Propuesta de medidas preventivas/mitigación	Definir medidas evitación, minimización, restauración y compensación.	Buenas prácticas, planes de manejo, ajustes de diseño.	Plan de Manejo Ambiental (PMA) con medidas por impacto.	Equipo PMA
9	Evaluación residual y monitoreo	Determinar impacto residual tras medidas; definir indicadores y plan de seguimiento.	Indicadores (biológicos, físicos, sociales), protocolos de monitoreo.	Programa de monitoreo y reporte.	Responsable PMA
10	Participación y revisión	Socializar resultados, incorporar aportes, revisión final.	Talleres, actas, incorporación de medidas.	Documento final, anexos, matriz actualizada.	Coordinador y stakeholders

