

Guía Técnica para la

Gestión del Riesgo Eléctrico en Minería Subterránea

Contrato Interadministrativo
ANM-701-2025

Agencia Nacional de Minería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Contrato Interadministrativo *ANM-701-2025*

Guía técnica para la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea

Agencia Nacional de Minería

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
Observatorio ÍGNEA

© Gustavo Adolfo Viana Casas, editor, 2025
© Carlos Mario Mesa Quiroz, autor, 2025
© Juan Eugenio Monsalve Oliveros, autor, 2025
© Alex Manuel Lemus Madrid, autor, 2025
© Luis Alfredo Caro Bello, autor, 2025
© Oscar Jaime Restrepo Baena, autor, 2025
© Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

2025

Agencia Nacional de Minería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

622.8
U54 Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). Facultad de Minas. [Grupo de Investigación] Observatorio ÍGNEA
Guía técnica para la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea / Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín). Facultad de Minas. [Grupo de Investigación] Observatorio ÍGNEA, Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Agencia Nacional de Minería -- Medellín, Colombia : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2025.
1 recurso en línea (vi, 178 páginas) : diagramas, ilustraciones, fotografías a color. -- (Contrato Interadministrativo ANM-701-2025)

ISBN Impreso: 978-628-503-251-6 ISBN Digital: 978-628-503-252-3

1. ELECTRICIDAD EN LA MINERÍA. 2. ACCIDENTES POR ELECTRICIDAD. 3. MINERÍA SUBTERRÁNEA. 4. ACCIDENTES DE TRABAJO. 5. SEGURIDAD INDUSTRIAL. 6. PREVENCION DE ACCIDENTES. 7. MINAS – MEDIDAS DE SEGURIDAD. 8. SALUD OCUPACIONAL – NORMAS TÉCNICAS. 9. RIESGO (MINERÍA SUBTERRÁNEA). 10. AUDITORÍA - PROCESAMIENTO DE DATOS. 11. INSTALACIONES ELÉCTRICAS-MEDIDAS DE SEGURIDAD. 12. LEGISLACIÓN LABORAL. 13. INSTALACIONES ELECTRICAS. I. Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Agencia Nacional de Minería. II. Título.

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín

Guía técnica para la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea.

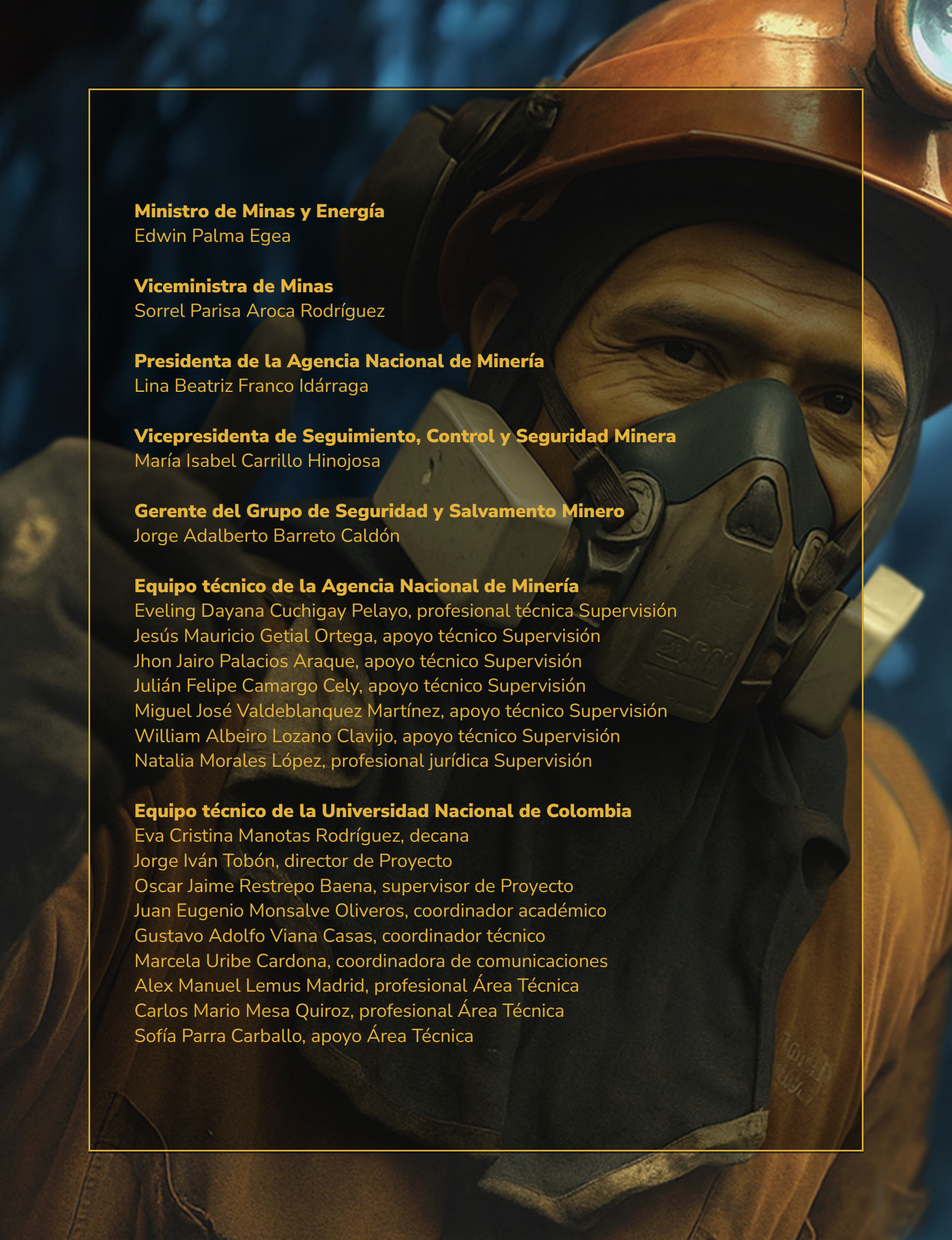
© Gustavo Adolfo Viana Casas, editor
© Carlos Mario Mesa Quiroz, autor
© Juan Eugenio Monsalve Oliveros, autor
© Alex Manuel Lemus Madrid, autor
© Luis Alfredo Caro Bello, autor
© Oscar Jaime Restrepo Baena, autor
© Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Primera edición: Medellín, diciembre de 2025
Corrección de texto: Juan Fernando Saldarriaga Restrepo
Carátula, diseño y diagramación: Paula Andrea Pulgarín Hernández

Este trabajo está licenciado bajo Creative Commons 

"Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales."

Coordinación editorial
Observatorio ÍGNEA
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
Calle 75 N 79 A - 51 Bloque M 15
ignea_med@unal.edu.co



Ministro de Minas y Energía
Edwin Palma Egea

Viceministra de Minas
Sorrel Parisa Aroca Rodríguez

Presidenta de la Agencia Nacional de Minería
Lina Beatriz Franco Idárraga

Vicepresidenta de Seguimiento, Control y Seguridad Minera
María Isabel Carrillo Hinojosa

Gerente del Grupo de Seguridad y Salvamento Minero
Jorge Adalberto Barreto Caldón

Equipo técnico de la Agencia Nacional de Minería
Eveling Dayana Cuchigay Pelayo, profesional técnica Supervisión
Jesús Mauricio Getial Ortega, apoyo técnico Supervisión
Jhon Jairo Palacios Araque, apoyo técnico Supervisión
Julián Felipe Camargo Cely, apoyo técnico Supervisión
Miguel José Valdeblanquez Martínez, apoyo técnico Supervisión
William Albeiro Lozano Clavijo, apoyo técnico Supervisión
Natalia Morales López, profesional jurídica Supervisión

Equipo técnico de la Universidad Nacional de Colombia
Eva Cristina Manotas Rodríguez, decana
Jorge Iván Tobón, director de Proyecto
Oscar Jaime Restrepo Baena, supervisor de Proyecto
Juan Eugenio Monsalve Oliveros, coordinador académico
Gustavo Adolfo Viana Casas, coordinador técnico
Marcela Uribe Cardona, coordinadora de comunicaciones
Alex Manuel Lemus Madrid, profesional Área Técnica
Carlos Mario Mesa Quiroz, profesional Área Técnica
Sofía Parra Carballo, apoyo Área Técnica



Contenido

Siglas y abreviaturas I

Lista de tablas III

Lista de figuras IV

Prólogo 1

Introducción 2

Antecedentes: estadísticas y política pública 4

Estadísticas de accidentalidad minera 4

Política Nacional de Seguridad Minera 7

Sistema Nacional de Seguridad Minera 8

Objetivos de la guía 10

Objetivo general 10

Objetivos específicos 10

Alcance y proceso metodológico de la guía técnica 11

Estructura de la guía 13

1. Marco normativo 14

1.1. Normatividad eléctrica 15

1.1.1. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas 15
1.1.2. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público 16
1.1.3. Resolución 5018 del 2019 16
1.1.4. NTC 2050 del 2020 17

1.2. Normatividad sobre seguridad minera 17
1.2.1. Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas 18
1.2.2. Decreto 539 del 2022 19
1.2.3. Decreto 0875 del 2025 19

1.3. Normas transversales sobre seguridad y salud en el trabajo 20

1.4. Sanciones 21

1.5. Normatividad complementaria y de referencias 21
1.5.1. Normas de la National Fire Protection Association 21
1.5.2. Normas de la International Electrotechnical Commission 22
1.5.3. Norma de la International Organization for Standardization 22
1.5.4. Directiva ATEX 22
1.5.5. Norma Técnica Colombiana 22

2. Conceptos generales sobre las instalaciones eléctricas 25

2.1. Definición de instalación eléctrica 26

2.2. Variables eléctricas 26

2.3. Diseños eléctricos 27

2.4. Planos eléctricos 28
2.4.1. Componentes clave de un plano eléctrico 28
2.4.2. Símbolos más utilizados 28
2.4.3. Memorias de cálculo 31
2.4.4. Diagrama unifilar 31

2.5. Elementos y equipos eléctricos 33
2.5.1. Elementos y equipos en generación y transmisión 33
2.5.1.1. Central hidroeléctrica 33
2.5.1.2. Central térmica 33
2.5.1.3. Líneas de transmisión 34
2.5.1.4. Subestación tipo patio 34
2.5.1.5. Transformador de potencia 35
2.5.1.6. Cuarto eléctrico 36
2.5.1.7. Planta de emergencia 36
2.5.1.8. Granja solar 37
2.5.1.9. Transferencia automática 38
2.5.2. Elementos y equipos para distribución y uso final de la energía en una mina subterránea 38

2.5.2.1. Cableado eléctrico de baja tensión (25 V-1000 V) 38
2.5.2.2. Cable minero 39
2.5.2.3. Bandeja portacables y canalizaciones 43
2.5.2.4. Circuito ramal 43
2.5.2.5. Subestación *power center* 44
2.5.2.6. Tablero eléctrico 44
2.5.2.7. Interruptores automáticos 45
2.5.2.8. Motor eléctrico 46
2.5.2.9. Contactores 46
2.5.2.10. Relé térmico 46
2.5.2.11. Pulsadores de emergencia 47
2.5.2.12. Dispositivo de protección contra sobretensiones 47
2.5.2.13. Variador de velocidad 47
2.5.2.14. Bombas 48
2.5.2.15. Ventiladores 48
2.5.2.16. Resistencia de puesta a tierra neutra 48
2.5.2.17. Red monofásica 49
2.5.2.18. Red trifásica 49
2.5.3. Áreas clasificadas 50
2.5.3.1. Equipos a prueba de explosión 54
2.5.4. Grados de protección para equipos eléctricos 56
2.5.4.1. Grado de protección IP 56
2.5.4.2. Grado de protección IK 57

2.6. Equipos de medición 58
2.6.1. Detector de tensión 58
2.6.2. Detector de tensión portátil 59
2.6.3. Pinza amperimétrica 59
2.6.4. Multímetro 59
2.6.5. Cámara termográfica 59
2.6.6. Megóhmetro 60
2.6.7. Telurómetro 60

3. Modelo para la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea 61

3.1 Programa de Riesgo Eléctrico 62

3.2. Identificación de peligros eléctricos 63
3.2.1. El concepto de *peligro* 63
3.2.2. Peligros eléctricos 64
3.2.2.1. Contacto directo 64
3.2.2.2. Contacto indirecto 65
3.2.2.3. Arco eléctrico 65
3.2.2.4. Descargas atmosféricas y sobretensiones 65
3.2.2.5. Peligros eléctricos en atmósferas explosivas 66
3.2.2.6. Otros peligros eléctricos 66
3.2.3. Metodología para la identificación de peligros eléctricos 67

3.3. Valoración del riesgo eléctrico 68
3.3.1. El concepto de *riesgo* 68
3.3.2. Evaluación del riesgo acorde al método GTC 45 68
3.3.3. Metodologías alternativas para la evaluación de riesgos eléctricos 69
3.3.3.1. Análisis cualitativo por matrices de probabilidad-severidad 69
3.3.3.2. Análisis de modos de falla y efectos 69

3.3.3.3. Árbol de fallas o eventos 69
3.3.4. Priorización de riesgos eléctricos 70
3.3.4.1. Mapas de riesgo eléctrico en minas subterráneas 71
3.3.4.2. Ejemplo 1 en operación minera subterránea 71
3.3.4.3. Ejemplo 2 en una mina subterránea 71
3.3.5. Riesgo inherente y riesgo residual 72

3.4. Aplicación de controles para prevención y mitigación del riesgo eléctrico 72

3.5. Controles de sustitución en riesgo eléctrico 75
3.5.1. Reemplazo de cable genérico por cable minero 75
3.5.2. Cambio de tableros convencionales por tableros con protección IP e IK apropiadas 76
3.5.3. Implementación de equipos a prueba de explosión en áreas clasificadas 76

3.6. Controles de ingeniería en instalaciones eléctricas 77
3.6.1. Sistemas de puesta a tierra 77
3.6.2. Distancias de seguridad 77
3.6.2.1. Distancias de seguridad con respecto a construcciones existentes o proyectadas 77
3.6.2.2. Distancias de seguridad con respecto a equipos, celdas o tableros 79
3.6.2.3. Distancias de seguridad con respecto a los arcos eléctricos 80
3.6.2.4. Distancias de seguridad para personal electricista con respecto a redes eléctricas en aéreas desnudas 80
3.6.2.5. Distancias de seguridad para personal no electricista con respecto a redes eléctricas en aéreas desnudas 81
3.6.2.6. Equipos móviles eléctricos y locomotoras 81
3.6.3. Buenas prácticas de mantenimiento en instalaciones eléctricas 81
3.6.3.1. Tipos de mantenimiento 82
3.6.3.2. Procedimientos de mantenimiento en instalaciones eléctricas 83
3.6.3.3. Nuevas tecnologías para el mantenimiento eléctrico 84
3.6.3.4. Programación del mantenimiento eléctrico 84
3.6.3.5. Registros y trazabilidad del mantenimiento 85
3.6.3.6. Roles y responsabilidades 86

3.7. Controles administrativos en riesgo eléctrico 87
3.7.1. Procedimientos de trabajo seguro para intervención de máquinas y equipos eléctricos con o sin tensión 87
3.7.1.1. Procedimiento de trabajos sin tensión (LOTO) 88
3.7.1.2. Reglas de oro para intervenir un sistema eléctrico en trabajos sin tensión 89
3.7.1.3. Procedimiento de trabajos con tensión 91
3.7.1.4. Procedimientos especiales en minería subterránea 92
3.7.2. Competencias y habilitación de trabajadores y contratistas en oficios eléctricos 93
3.7.2.1. Normativa sobre competencias y responsabilidad del personal electricista 93
3.7.2.2. Entidades que certifican al personal electricista 94
3.7.2.3. Clases de matrículas que aplican para los técnicos electricistas 96
3.7.2.4. Habilitación del personal 97
3.7.2.5. Personal no electricista 98
3.7.3. Gestión documental en seguridad eléctrica 99
3.7.4. Señalización y rotulación eléctrica 101
3.7.4.1. Adaptación a condiciones subterráneas 101
3.7.4.2. Implementación sistemática de la señalización 101
3.7.4.3. Inspecciones y mantenimiento de la señalización 103

3.7.4.4. Socialización sobre el significado de la señalización 103
3.7.5. Capacitación y entrenamiento del personal 103
3.7.5.1. Requisitos de competencias profesionales y laborales 104
3.7.5.2. Objetivos de la capacitación y el entrenamiento 104
3.7.5.3. Contenidos mínimos de formación 105
3.7.5.4. Metodologías de formación 105
3.7.5.5. Frecuencia y seguimiento de capacitación y entrenamiento 105
3.7.5.6. Evaluación de competencias 105

3.8. Elementos de protección personal y de apoyo para trabajos eléctricos 106
3.8.1. Protección facial y craneal 106
3.8.1.1. Casco dieléctrico 106
3.8.1.2. Careta facial y balaclava 107
3.8.2. Vestuario 108
3.8.2.1. Vestuario en algodón 108
3.8.2.2. Vestuario ignífugo 108
3.8.3. Guantes para trabajos eléctricos con y sin tensión 109
3.8.3.1. Guantes dieléctricos 109
3.8.3.2. Guantes no dieléctricos 112
3.8.4. Botas dieléctricas 113
3.8.5. Elementos de apoyo 113
3.8.5.1. Tapete dieléctrico 114
3.8.5.2. Puesta a tierra temporal 114
3.8.5.3. Pértiga telescópica 115
3.8.5.4. Herramientas dieléctricas 115

4. Gestión de adquisiciones de bienes y servicios 116

4.1. Requisitos generales para la gestión de adquisiciones 118
4.1.1. Especificaciones técnicas de compra 118
4.1.2. Control documental en adquisiciones 119
4.1.3. Recepción técnica y verificación de conformidad 119
4.1.4. Control de contratistas eléctricos 119

4.2. Roles y responsabilidades 119

5. Monitoreos, auditorías e indicadores de gestión 121

5.1. Estrategias para monitoreos en minería subterránea 122
5.1.1. Inspecciones rutinarias 122
5.1.2. Monitoreos en tiempo real 122
5.1.3. Monitoreos predictivos 123

5.2. Auditorías del riesgo eléctrico 123
5.2.1. Tipos de auditorías 123
5.2.2. Elementos de las auditorías 123
5.2.3. Frecuencia de auditorías 123

5.3. Indicadores de gestión del riesgo eléctrico 124

5.3.1. Indicadores de cumplimiento 124
5.3.2. Indicadores de accidentalidad 124
5.3.3. Indicadores de respuesta 124

5.4. Reportes y comunicación de resultados recomendados 127

6. Plan de Prevención, Preparación y Respuesta ante Emergencias por el riesgo eléctrico 128

6.1. Metodologías de identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidades 130

6.2. Escenarios de emergencia eléctrica en minería subterránea 131

6.3. Respuesta ante emergencias eléctricas 133
6.3.1. Brigada de emergencias ante eventos eléctricos 133
6.3.2. Recursos mínimos requeridos 134

6.4. Protocolos de respuesta por escenario 134
6.4.1. Rescate de trabajador electrocutado 134
6.4.2. Incendio eléctrico en galería 135
6.4.3. Explosión de metano o polvo de carbón generada por chispa 135
6.4.4. Corte eléctrico en sistemas críticos 135
6.4.5. Procedimientos operativos normalizados 135

6.5. Simulacros de emergencias eléctricas 136

6.6. Primeros auxilios en emergencias eléctricas 138

7. Modelo para la investigación y el análisis de accidentes e incidentes de trabajo por riesgo eléctrico 139

7.1. Introducción 140

7.2. Objetivo del modelo 140

7.3. Alcance del modelo 141

7.4. Aspectos legales 141

7.5. Definiciones 142

7.6. Orientación de la investigación y el análisis de accidentes e incidentes 144

7.7. Fases para implementar en una investigación y análisis de accidentes e incidentes de trabajo 145
7.7.1. Etapa de la investigación 145
7.7.1.1. Describir el suceso 145
7.7.1.2. Asegurar la escena 145

7.7.1.3. Tomar fotos y videos 146
7.7.2. Etapa de análisis 147
7.7.2.1. Conformar el equipo de análisis 147
7.7.2.2. Establecer los acuerdos en el equipo de análisis 147
7.7.2.3. Establecer la línea de tiempo 148
7.7.2.4. Definir el 5W 149
7.7.2.5. Definir el problema 149
7.7.2.6. Seleccionar la metodología para la investigación del accidente de trabajo 150
7.7.2.7. Identificar el tipo de accidente e incidente de trabajo (agente) 152
7.7.2.8. Identificar la(s) causa(s) 152
7.7.2.9. Identificar las fallas de control 153
7.7.2.10. Elaborar el árbol o diagrama causal 154
7.7.2.11. Diseñar el(los) plan(es) de acción 154
7.7.2.12. Hacer seguimiento al cumplimiento de los planes de acción 155
7.7.2.13. Cierre de los planes de acción 156
7.7.2.14. Evaluar los planes de acción 156
7.7.2.15. Identificar y comunicar la lección aprendida 157

7.8. Caso de estudio de accidente eléctrico 158
7.8.1. Etapa de investigación 158
7.8.1.1. Describir el suceso 158
7.8.1.2. Asegurar la escena 159
7.8.1.3. Tomar fotos y videos 159
7.8.2. Etapa de análisis 159
7.8.2.1. Conformar el equipo investigador 159
7.8.2.2. Establecer las reglas de análisis 159
7.8.2.3. Establecer la línea de tiempo 160
7.8.2.4. Definir el 5W 161
7.8.2.5. Definir el problema 161
7.8.2.6. Seleccionar la metodología a aplicar 161
7.8.2.7. Identificar el tipo de accidente 161
7.8.2.8. Analizar las causas 162
7.8.2.9. Identificar las fallas de control 162
7.8.2.10. Elaborar el diagrama causal 162
7.8.2.11. Diseñar planes de acción 163
7.8.2.12. Cierre del ejercicio 164

8. Cultura de la seguridad y mejora continua 165

8.1. Cultura de la seguridad eléctrica en minería subterránea 166

8.2. Mejora continua aplicada en la gestión del riesgo eléctrico 167

9. Tendencias e innovación en gestión del riesgo eléctrico 170

9.1. Vehículos eléctricos de batería en la minería subterránea 172

9.2. Realidad virtual para el entrenamiento en seguridad eléctrica 173

Referencias 175

Siglas y abreviaturas

ANM	Agencia Nacional de Minería
ATEX	ATmosphères EXplosibles
BEV	Battery Electric Vehicle, vehículos eléctricos de batería
CMMS	Computerized Maintenance Management System, Sistema computarizado de gestión del mantenimiento
CONALTEL	Consejo Profesional Nacional de Tecnólogos en Electricidad, Electromecánica, Electrónica y Afines
CONTE	Consejo Nacional de Técnicos Electricista
COPNIA	Consejo Profesional Nacional de Ingeniería
DEA	Desfibrilador externo automático
EPP	Elementos de protección personal
FRR	Factor de reducción del riesgo
GTC	Guía Técnica Colombiana
Icontec	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
IEC	International Electrotechnical Commission
IECEx	IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmospheres
IK	Índice cinético o *kinetic index*
IP	Índice de protección
ISO	International Organization for Standardization
LOTO	Lockout-Tagout, bloqueo y etiquetado
MME	Ministerio de Minas y Energía
NC	Nivel de consecuencia
ND	Nivel de deficiencia
NE	Nivel de exposición
NEC	National Electrical Code, Código Eléctrico Nacional
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NFPA	National Fire Protection Association



Lista de tablas

Tabla 1. Emergencias, fatalidades y heridos en minería entre 2005 y 2025 (28 de noviembre) 5

Tabla 2. Clasificación de causas de accidentes mineros 2005 a 2025 (28 de noviembre) .. 7

Tabla 3. Comparativo entre normatividad eléctrica colombiana e internacional 23

Tabla 4. Código de colores para conductores de corriente alterna 42

Tabla 5. Clasificación de las minas subterráneas de carbón 52

Tabla 6. Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones 78

Tabla 7. Distancias de seguridad en equipos, celdas o tableros..... 79

Tabla 8. Distancias de seguridad para trabajos cerca a redes y líneas energizadas..... 80

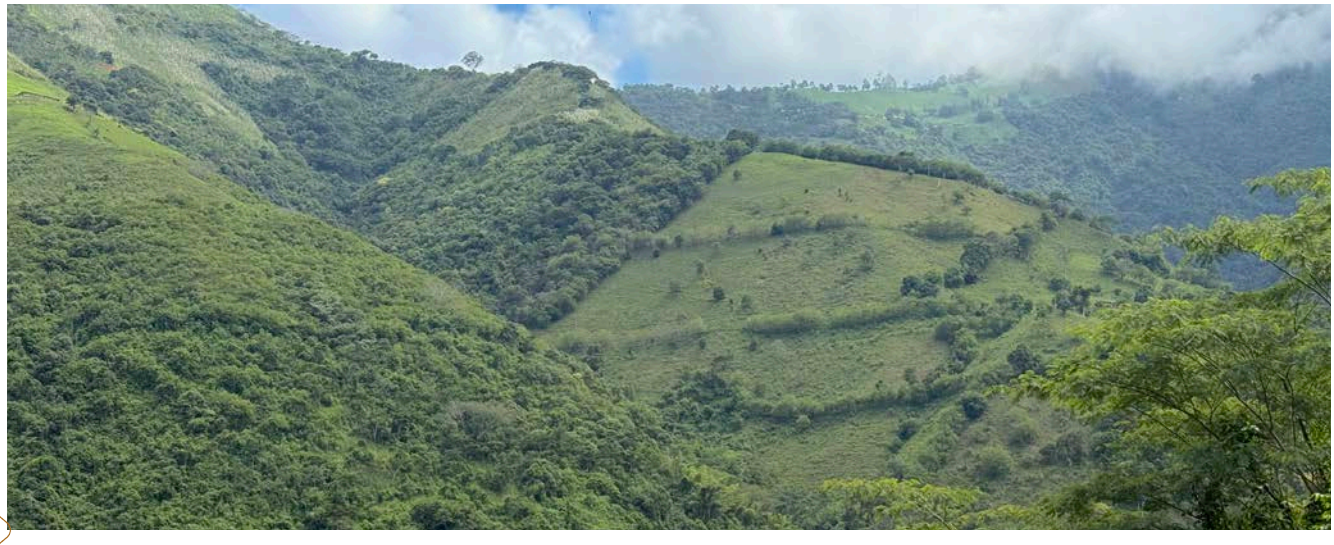
Tabla 9. Distancias de seguridad para personas no competentes..... 81

Tabla 10. Clase de guantes de acuerdo con el nivel de tensión..... 111

Tabla 11. Responsabilidades en la adquisición de bienes y servicios eléctricos 120

Tabla 12. Indicadores según su tipo 125

Tabla 13. Plan de Acción..... 164



Lista de figuras

Figura 1. Tendencia de emergencias y fatalidades en minería entre 2005 y 2025 (28 de noviembre) 6

Figura 2. Simbología eléctrica - parte 1 29

Figura 3. Simbología eléctrica - parte 2 30

Figura 4. Diagrama unifilar 31

Figura 5. Central hidroeléctrica 33

Figura 6. Central térmica 33

Figura 7. Línea de transmisión 34

Figura 8. Subestación tipo patio 34

Figura 9. Transformadores de potencia 35

Figura 10. Cuarto eléctrico 36

Figura 11. Planta de emergencia 36

Figura 12. Paneles solares 37

Figura 13. Transferencia automática 38

Figura 14. Sección de cable minero con sus componentes 39

Figura 15. Cable de media tensión para alimentación 41

Figura 16. Cable de baja tensión para distribución 41

Figura 17. Cable de baja tensión para potencia 41

Figura 18. Cable de baja tensión para control 41

Figura 19. Bandeja portacable 43

Figura 20. Canalización eléctrica 43

Figura 21. Subestación *power center* 44

Figura 22. Tablero eléctrico 44

Figura 23. Interruptor automático 45

Figura 24. Motor eléctrico 46

Figura 25. Contactor 46

Figura 26. Relé térmico 46

Figura 27. Pulsador de emergencia 47

Figura 28.Dispositivo de protección contra sobretensiones 47

Figura 29. Variador de velocidad 47
Figura 30. Bomba sumergible 48
Figura 31. Ventilador minero 48
Figura 32. Falla a tierra 49
Figura 33. Tablero a prueba de explosión 54
Figura 34. Sello cortafuego 54
Figura 35. Clasificación IP acorde con la International Electrotechnical Commission ... 56
Figura 36. Protección Ik acorde con la International Electrotechnical Commission 57
Figura 37. Detector de tensión 58
Figura 38. Detector de tensión con pértiga 58
Figura 39. Detector de tensión portátil 59
Figura 40. Pinza amperimétrica 59
Figura 41. Multímetro 59
Figura 42. Cámara termográfica 60
Figura 43. Megóhmetro 60
Figura 44. Telurómetro 60
Figura 45. Contacto directo 64
Figura 46. Contacto indirecto 65
Figura 47. Arco eléctrico 65
Figura 48. Falla eléctrica en atmósfera explosiva 66
Figura 49. Semaforización de niveles de riesgo 70
Figura 50. Jerarquía para la aplicación de controles 74
Figura 51. Cable eléctrico minero 76
Figura 52. Ilustración de distancias mínimas de seguridad en construcciones 79
Figura 53. Inspección de tablero eléctrico 82
Figura 54. Sistema SCADA 84
Figura 55. Apertura de circuito 89
Figura 56. Bloqueo y etiquetado 89
Figura 57. Verificación de ausencia de tensión 89
Figura 58. Puesta a tierra 90
Figura 59. Área señalizada para trabajo 90

Figura 60. Logo Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y profesiones Afines 94
Figura 61. Logo Consejo Profesional Nacional de Ingeniería 94
Figura 62. Logo del Consejo Profesional Nacional de Tecnólogos en Electricidad, Electromecánica, Electrónica y Afines 95
Figura 63. Logo del Consejo Nacional de Técnicos Electricistas 95
Figura 64. Etiqueta de estudio de arco eléctrico 102
Figura 65. Señalización en subestación eléctrica 103
Figura 66. Casco dieléctrico para minería 106
Figura 67. Señalización de visera en un casco 107
Figura 68. Careta de protección 107
Figura 69. Vestuario ignífugo 108
Figura 70. Kit de guantes para trabajos con tensión 109
Figura 71. Guantín 110
Figura 72. Guante de látex 110
Figura 73. Medición de circunferencia de la mano 111
Figura 74. Sobreguantes 112
Figura 75. Kit de trabajo de guante dieléctrico 112
Figura 76. Guantes de nitrilo y guantes de vaqueta 112
Figura 77. Botas de caña 113
Figura 78. Tapete dieléctrico 114
Figura 79. Puesta a tierra temporal 114
Figura 80. Pértiga 115
Figura 81. Kit de herramientas dieléctricas de baja tensión 115
Figura 82. Arco eléctrico en tablero 132
Figura 83. Incendio eléctrico en tablero 132
Figura 84. Diagrama causal 163
Figura 85. Ciclo PHVA enfocado en el riesgo eléctrico 168
Figura 86. Aspectos valorados positiva y negativamente en vehículos eléctricos de batería 173
Figura 87. Medición de voltaje en entrenamiento de realidad virtual 174





Prólogo

El Contrato Interadministrativo ANM-701-2025 fue celebrado entre la Agencia Nacional de Minería (ANM) y la Universidad Nacional de Colombia como respuesta a los importantes desafíos en términos de la gestión de riesgos en seguridad y salud en el trabajo que enfrenta el sector minero colombiano. Dentro de dicho contrato, se propuso la construcción de una guía técnica para la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea.

La guía es una herramienta diseñada para orientar el proceso de evaluación y gestión del riesgo derivado de los peligros eléctricos, apuntando a la disminución de estos mediante la adecuada aplicación de controles y validación de su eficacia, con el apropiado seguimiento, monitoreo y uso de indicadores; todo enmarcado en el ciclo para la mejora continua Planear-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA).

La guía está pensada como un documento de consulta útil para titulares, profesionales, tecnólogos, técnicos y, en general, para cualquier persona involucrada en la gestión de la seguridad dentro de las operaciones mineras.



Introducción

Agencia Nacional de Minería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



Según el Glosario Técnico Minero, adoptado por el Ministerio de Minas y Energía (MME) mediante la Resolución 40599 de 2015, la *minería* se define como:

> Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie. (Colombia, MME, 2015, p. 50)

En las explotaciones subterráneas, las condiciones de trabajo son complejas, debido a la presencia de riesgos particulares, como atmósferas explosivas, espacios confinados, potenciales fallas geomecánicas, incendios, inundaciones o caídas a distinto nivel; el uso de cierto tipo de maquinaria y equipos; la presencia de energías peligrosas y el empleo de sistemas e instalaciones eléctricas para apoyar servicios auxiliares mineros y operaciones unitarias dentro de túnel.

En las minas de carbón, por ejemplo, una falla eléctrica puede configurar una fuente de ignición ante la existencia de una atmósfera explosiva por la presencia no controlada de metano o polvo de carbón. Por otro lado, en minas de oro, donde el riesgo de atmósferas explosivas es menor, otras condiciones —como la humedad constante, los espacios confinados y el uso de equipos eléctricos— favorecen la aparición de choques o arcos eléctricos.

De acuerdo con datos de la Agencia Nacional de Minería (ANM), los accidentes eléctricos, aunque menos frecuentes que los asociados a fallas geomecánicas o explosiones, presentan una alta tasa de letalidad, lo que los convierte en un riesgo crítico dentro de la actividad minera.

Los principales tipos de accidentes eléctricos en minería subterránea son:

- *Electrocución por contacto directo:* ocurre al tocar, por ejemplo, cables energizados o tableros eléctricos.
- *Electrocución por contacto indirecto:* se presenta cuando una carcasa metálica se energiza debido a una falla de aislamiento o una deficiente puesta a tierra.
- *Arco eléctrico:* resultado de una liberación súbita de energía eléctrica, que produce calor extremo, luz intensa, ondas de presión y proyección de material fundido, con consecuencias severas para los trabajadores.

Estos eventos no solo amenazan la vida y la seguridad del personal, sino que también pueden ocasionar paradas operativas, daños en equipos e infraestructura, sanciones legales y pérdidas económicas. Por ello, la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea debe abordarse de manera integral y preventiva, combinando criterios técnicos, normativos y de formación del personal, con el fin de asegurar operaciones más seguras y sostenibles.

Antecedentes: estadísticas y política pública

Como aspectos importantes para entender el contexto que llevó a la elaboración de esta guía, resulta pertinente revisar tres elementos relevantes sobre la realidad de la seguridad minera en el país y la coyuntura en materia de política pública, que justifican la necesidad de un instrumento orientado a la gestión del riesgo eléctrico en las operaciones mineras subterráneas. Estos elementos son: las estadísticas de accidentalidad minera, la Política Nacional de Seguridad Minera y el Sistema Nacional de Seguridad Minera.

Estadísticas de accidentalidad minera

La minería en Colombia presenta unos indicadores de siniestralidad significativos. Acorde con el Consejo Colombiano de Seguridad,

> Durante el 2024 los sectores económicos con mayores tasas de mortalidad laboral por cada 100.000 trabajadores fueron: “Explotación de minas y canteras” con una tasa de 50,66 muertes, siendo esta 17 veces mayor respecto a la tasa nacional y menor si se compara con la cifra registrada en 2023, que fue de 55,66 muertes por cada 100.000 trabajadores, confirmando la tendencia que se viene presentando en los últimos tres periodos. (2025, p. 9)

De acuerdo con datos de la ANM (2025), entre el 2005 y el 28 de noviembre de 2025 se registraron 2066 emergencias en el sector minero colombiano, que derivaron en 1113 heridos y 2337 fatalidades (véase Tabla 1).

Tabla 1. Emergencias, fatalidades y heridos en minería entre 2005 y 2025 (28 de noviembre)

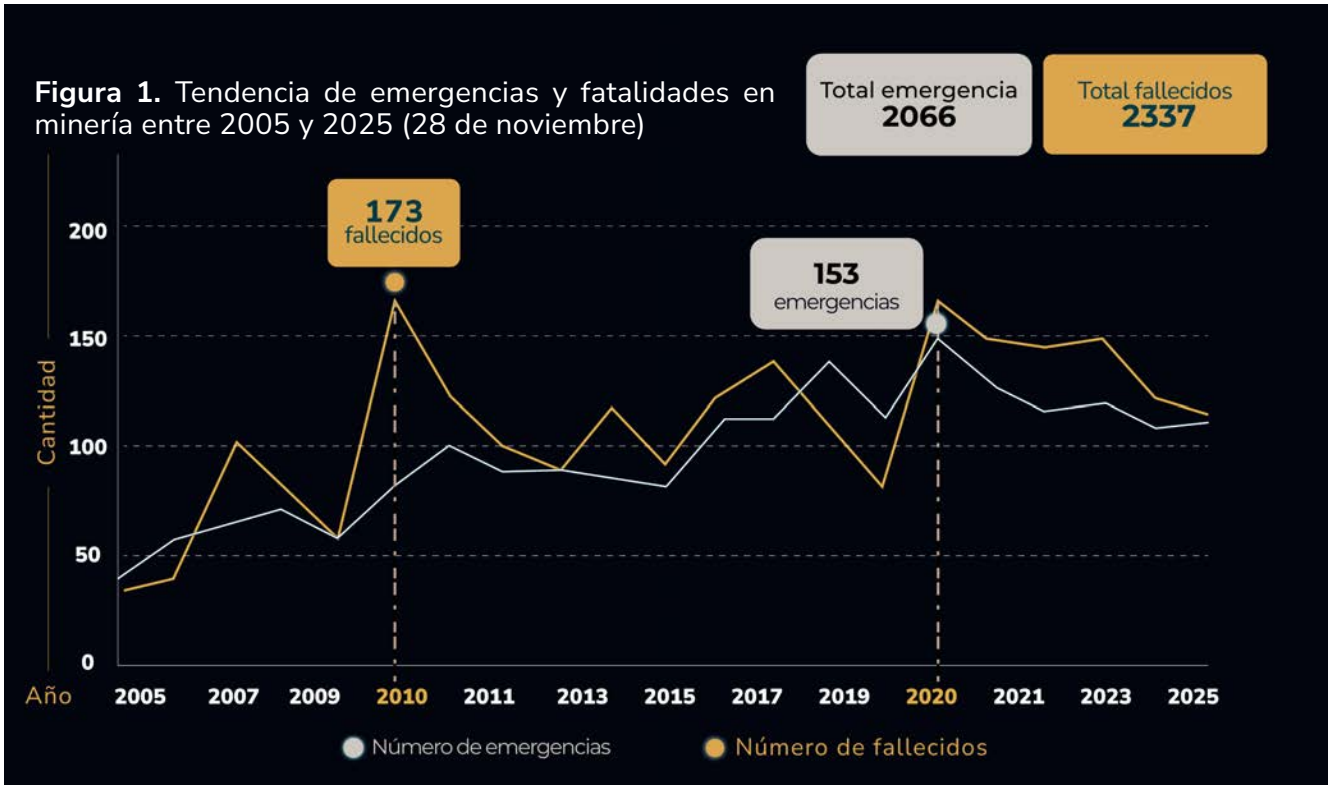
Departamento	Número de emergencias	Número de fallecidos	Número de heridos
Boyacá	610	595	238
Cundinamarca	406	450	137
Antioquia	363	459	312
Norte de Santander	293	351	134
Caldas	110	101	80
Cauca	69	131	66
Valle del Cauca	64	58	22
Santander	59	66	25
Bolívar	29	41	11
Cesar	15	12	8
La Guajira	10	13	12
Chocó	9	25	34
Nariño	9	14	17
Risaralda	7	3	2
Tolima	6	6	4
Córdoba	3	3	8
Huila	2	7	1
Magdalena	1	1	0
Quindío	1	1	2
Totales	**2066**	**2337**	**1113**

Fuente: elaborada con base en ANM (2025).

Las fatalidades en el periodo estudiado muestran un promedio anual de 117 muertes, estando la mayoría de estos eventos (alrededor del 76 %) concentrados en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Norte de Santander y Caldas (véase Tabla 1), zonas donde predomina la minería subterránea de carbón, oro y esmeraldas, en pequeña y mediana escala.

De igual manera, cuando se observa cómo evolucionaron tanto la cantidad de emergencias —con un máximo de 153 en el año 2020— como el número de fallecidos registrados en el periodo de análisis —con un máximo en el 2010 de 173— , es posible identificar fluctuaciones con una tendencia creciente (véase Figura 1).

Figura 1. Tendencia de emergencias y fatalidades en minería entre 2005 y 2025 (28 de noviembre)



Fuente: elaborada con base en ANM (2025).

En este orden de ideas, enfocado en los accidentes de origen eléctrico, el análisis estadístico muestra un promedio de tres fatalidades por año en el periodo 2005-2025 (véase Tabla 2). Aunque representan un porcentaje reducido del total de siniestros (2,7 % del total de muertes para el periodo analizado), estos accidentes se caracterizan por su alta severidad, generando con frecuencia muertes o lesiones incapacitantes permanentes.

Tabla 2. Clasificación de causas de accidentes mineros 2005 a 2025 (28 de noviembre)

Tipo de accidente	Cantidad de fatalidades	Porcentaje (%)	Promedio anual periodo (2005-2025)
Falla geomecánica	660	28,2	33,0
Explosión	538	23,0	26,9
Atmósfera contaminada o irrespirable	416	17,8	20,8
Mecánico	190	8,1	9,5
Inestabilidad de taludes	156	6,7	7,8
Otras causas	106	4,5	5,3
Inundación	101	4,3	5,1
Caída a diferente nivel	82	3,5	4,1
Eléctrico	**63**	**2,7**	**3,2**
Deslizamiento	14	0,7	0,7
Incendio	6	0,3	0,3
Maquinaria pesada	5	0,2	0,3
Total	**2337**	**100**	**117**

Fuente: elaborada con base en ANM (2025).

Estos datos evidencian la necesidad de fortalecer la gestión del riesgo eléctrico como parte integral de la seguridad minera, a través de la aplicación de normativas nacionales e internacionales, medidas técnicas, administrativas y formativas que garanticen la prevención efectiva de accidentes eléctricos en las labores subterráneas.

Política Nacional de Seguridad Minera

La Política Nacional de Seguridad Minera, actualizada por el Ministerio de Minas y Energía (MME), mediante la Resolución 40209 de 2022, establece los lineamientos estratégicos para fortalecer la seguridad en las operaciones mineras del país.

Esta política reconoce que:

> La seguridad es un tema transversal a cualquier actividad económica que se desarrolle en el mundo, es sinónimo de protección dada la importancia que tiene para preservar la vida, la salud y el bienestar de los individuos. Para el caso del sector minero, la seguridad adquiere gran relevancia ya que se constituye en un elemento clave que permite el aprovechamiento de los recursos, teniendo como foco principal la prevención de accidentes y la gestión de riesgos inherentes a la actividad [...]. (Colombia, MME, 2022, p. 4).

La política constituye el marco estratégico que orienta las acciones del Estado, de las empresas y de los trabajadores hacia la prevención de accidentes, la protección de la vida y la promoción de una minería segura y sostenible. En su enfoque, la minería en Colombia debe ser:



Segura: centrada en la protección de la vida y la integridad de los trabajadores.

Responsable: se cumple con la normatividad técnica, ambiental y laboral aplicable.

Sostenible: capaz de generar desarrollo económico y social, sin comprometer la seguridad de los trabajadores ni de las comunidades.

El objetivo de esta política es

> Disminuir la accidentalidad y mejorar las condiciones de seguridad en las que se adelantan las actividades en el sector minero del país, a través de la construcción e implementación de una cultura de la prevención, la cual estará a cargo de las partes interesadas para la prevención de accidentes, fatalidades y enfermedades laborales. (Colombia, MME, 2022b, p. 20)

Sistema Nacional de Seguridad Minera

Fue creado mediante el artículo 24 de la Ley 2250 del 2022 (Colombia, Congreso de la República, 2022), que se desarrolla posteriormente en el Decreto 0875 del 2025 (Colombia, Presidencia de la República, 2025).

Como expone el MME, el Sistema Nacional de Seguridad Minera (SNSM) “es el conjunto de políticas, instrumentos, componentes, procesos y proyectos, enfocados a fortalecer la seguridad minera en el territorio nacional”. Este sistema “coordinará y articulará interinstitucionalmente a las entidades públicas del orden nacional y territorial, a través de estrategias encaminadas a fortalecer la seguridad minera en el territorio nacional”. En este sentido, lo conforman “Entidades públicas, privadas, academia y otros actores del sector minero” (MME, 2025, p. 2).

> El Sistema Nacional de Seguridad Minera se articula con:
> - El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SNGRD.
> - Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo – CNSST.
> - Sistema Nacional de Salvamento Minero. (Colombia, MME, 2025, p. 3)

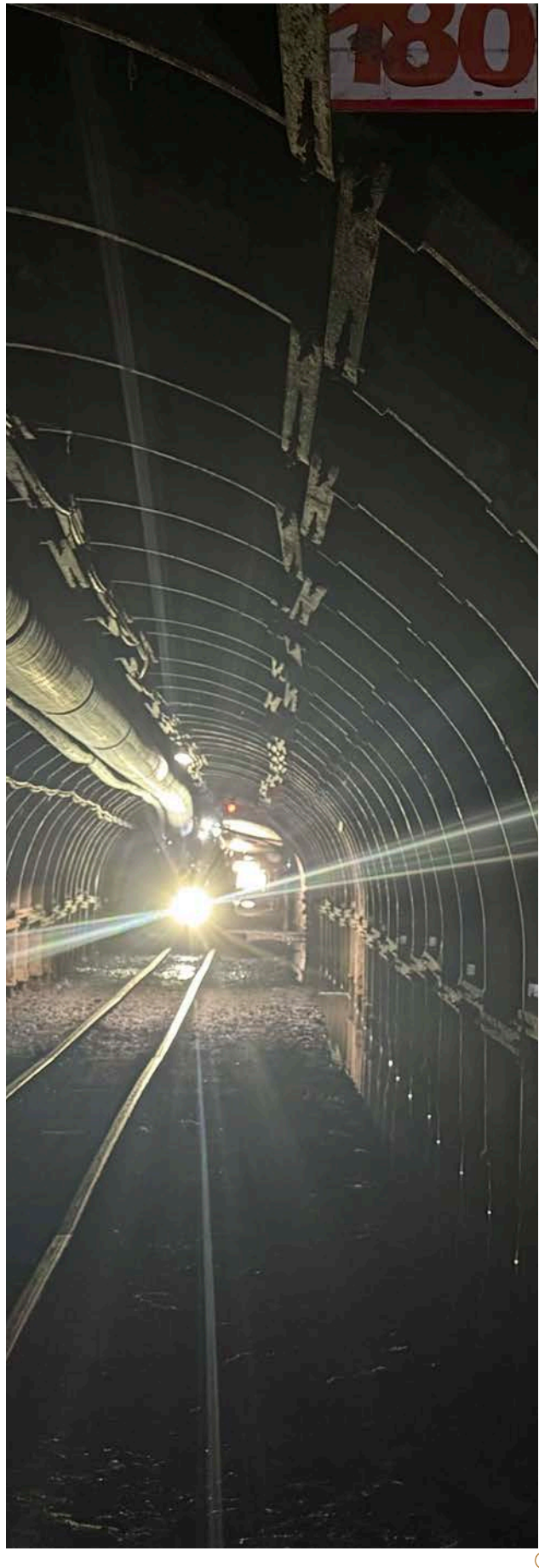
De este modo, el SNSM

> [...] adopta un enfoque estratégico centrado en la prevención de riesgos, la innovación tecnológica y la gestión del riesgo con visión de sostenibilidad en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo.
>
> Este enfoque busca anticiparse a los eventos adversos mediante la articulación de políticas públicas, el fortalecimiento de capacidades institucionales y la promoción de una cultura de la prevención en todos los niveles del sector minero, garantizando una intervención integral y adaptada a las realidades del territorio nacional. (Colombia, MME, 2025, p. 9)

El SNSM surge como respuesta a los principales retos que enfrenta la seguridad minera en Colombia, entre los cuales se destacan (Colombia, MME, 2025, pp. 10-11):

- La alta siniestralidad minera, especialmente en minas subterráneas.
- La limitada cultura de la prevención en algunas regiones productoras.
- La débil articulación interinstitucional entre autoridades nacionales y territoriales.
- El acceso insuficiente a tecnologías seguras y modernas.
- La escasa formación técnica especializada en seguridad minera.

Con ello, el sistema busca consolidar una gestión integral del riesgo minero, que combine políticas, recursos, conocimiento técnico y participación de todos los actores del sector.



Objetivos de la guía

Tomando en cuenta los antecedentes, a continuación se enuncian los objetivos de la guía.

Objetivo general

Establecer directrices claras y aplicables para la identificación, la evaluación, el control, el monitoreo, la mejora continua y las respuestas frente al riesgo eléctrico en las operaciones mineras subterráneas en Colombia, contribuyendo a la protección de los trabajadores, la continuidad segura de las operaciones y el cumplimiento de la normatividad vigente.

Objetivos específicos

1. Consolidar un marco normativo sobre las principales regulaciones en los ámbitos eléctrico y minero, que resultan pertinentes para la gestión del riesgo eléctrico en el sector minero
2. Introducir los conceptos y las definiciones más importantes sobre instalaciones y equipos eléctricos, en el marco del ciclo de la energía eléctrica y su uso final en operaciones mineras.
3. Determinar los principales elementos en materia de identificación de peligros eléctricos, valoración del riesgo eléctrico e implementación de controles que conformen un modelo para la gestión del riesgo eléctrico en entornos mineros subterráneos.
4. Presentar los criterios relevantes que intervienen en la adquisición de insumos y servicios para montajes y trabajos eléctricos.
5. Definir mecanismos de monitoreo, indicadores y acciones de mejora continua, que garanticen la efectividad y la sostenibilidad del sistema de gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea.
6. Proponer protocolos de prevención, atención y respuesta ante emergencias originadas por eventos eléctricos, integrados al Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).
7. Diseñar un modelo para investigación y análisis de accidentes e incidentes de trabajo relacionados con riesgo eléctrico.
8. Precisar los componentes fundamentales en la promoción de una cultura de la seguridad eléctrica en la operación minera, bajo el proceso de la mejora continua.
9. Resumir dos casos de estudio que ejemplifican elementos con potencial para generar innovación en la gestión del riesgo eléctrico.

Alcances y proceso metodológico de la guía técnica

La gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea exige contar con un instrumento técnico y formativo que oriente de manera práctica y unificada la prevención y el control de los riesgos derivados del uso de la energía eléctrica en ambientes subterráneos.

En este sentido, la presente guía se constituye en una herramienta preventiva, técnica y pedagógica, orientada a apoyar la toma de decisiones, el diseño de controles efectivos y la formación continua del personal. Su aplicación busca reducir la accidentalidad eléctrica en la minería subterránea y contribuir al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la ANM en materia de seguridad operacional. Asimismo, promueve la unificación de criterios, procedimientos y buenas prácticas en el manejo seguro de la energía eléctrica.

- Ingenieros, tecnólogos y técnicos.
- Personal responsable de la planificación y la supervisión de instalaciones, encargados del montaje, el mantenimiento y las reparaciones eléctricas en minería subterránea, quienes deben aplicar procedimientos seguros y verificables.
- Supervisores de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), encargados de integrar la gestión del riesgo eléctrico dentro del SG-SST.
- Contratistas eléctricos, responsables de garantizar el cumplimiento normativo y la implementación de controles preventivos.
- Personas encargadas de aplicar auditorias en riesgo eléctrico.
- Fiscalizadores mineros y profesionales encargados de la atención de emergencias.
- Personal operativo y ayudantes, que requieren formación básica para identificar peligros eléctricos, actuar de manera segura y aplicar medidas de autocuidado.



El documento está diseñado para orientar a los siguientes perfiles:

La guía busca asegurar la coherencia con la normatividad colombiana vigente —incluyendo los decretos 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2015b) y 944 de 2022 (Colombia, Presidencia de la República, 2022b), el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) (Colombia, MME, 2024a), el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) (Colombia, MME, 2024b), la Resolución 5018 de 2019 (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b) y demás disposiciones aplicables—, complementándolas con referencias internacionales como la National Fire Protection Association (NFPA) 70E (NFPA, 2024a), la International Electrotechnical Commission (IEC) 60364 (IEC, 2025) o las directivas ATEX (ATmosphères EXplosibles) sobre atmósferas explosivas, publicadas por el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea (1994, 1999).

También se pretende promover una cultura de la seguridad eléctrica que contribuya a reducir incidentes, accidentes graves y fatalidades, fortaleciendo la conciencia preventiva en todos los niveles de la organización.

Por último, busca fortalecer la implementación y mejora continua del Programa de Riesgo Eléctrico, como parte integral del SG-SST de las empresas mineras.

La construcción de la presente Guía técnica para la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea se basó en un proceso metodológico integral, orientado a garantizar su rigurosidad técnica, aplicabilidad práctica y coherencia normativa. Para su elaboración se consideraron los siguientes componentes:

- Revisión normativa: análisis detallado de la legislación y la reglamentación colombiana vigente en materia de minería, seguridad eléctrica y seguridad y salud en el trabajo.
- Análisis documental: revisión de guías técnicas previamente publicadas por la ANM, particularmente aquellas relacionadas con fallas geomecánicas, atmósferas explosivas (metano y polvo de carbón), atmósferas viciadas o contaminadas, con el fin de asegurar consistencia metodológica y terminológica.
- Revisión estadística: estudio de registros de accidentalidad eléctrica en minería subterránea en Colombia, identificando tendencias, causas, frecuencias, severidad y condiciones de ocurrencia, para orientar medidas preventivas efectivas.
- Estudio de casos reales: análisis técnico de accidentes eléctricos ocurridos en minas subterráneas, lo que permitió extraer lecciones aprendidas y buenas prácticas aplicables al contexto colombiano.
- Referenciación internacional: integración de estándares globales de seguridad eléctrica (IEC, NFPA, ATEX) y buenas prácticas de empresas mineras nacionales e internacionales, adaptadas a las condiciones geológicas, técnicas y operativas de la minería subterránea en Colombia.

Estructura de la guía

La estructura metodológica de la guía se fundamenta en el ciclo de gestión del riesgo, que comprende las siguientes etapas:

Identificación -> Evaluación -> Control -> Monitoreo -> Mejora continua.

Este enfoque permite abordar el riesgo eléctrico de forma sistemática, preventiva y participativa, articulando los componentes técnicos, organizacionales y humanos del proceso minero, para así lograr la mejora continua de las condiciones de seguridad eléctrica en las labores subterráneas.

El documento está organizado de la siguiente forma: el capítulo 1 expone el marco normativo eléctrico y minero que rige sobre la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo en Colombia, junto con algunas normas internacionales de referencia.

El capítulo 2 presenta algunos conceptos generales sobre instalaciones eléctricas y sus componentes, siguiendo la lógica de los diseños eléctricos y del ciclo de la electricidad en generación, transmisión, distribución y uso final en operaciones mineras subterráneas.

Luego, el capítulo 3, plantea un modelo para la gestión del riesgo eléctrico, incluyendo la identificación de peligros eléctricos, la valoración del riesgo asociado a estos y la implementación de controles pertinentes en la jerarquía de controles de ingeniería (como la implementación de sistemas de puesta a tierra, el uso de cable minero o de tableros robustos con protección IP —índice de protección— e IK —índice cinético o kinetic index— acordes al ambiente minero), controles administrativos (como serían los procedimientos para trabajos sin tensión o la gestión documental) y la implementación de elementos de protección personal (EPP) para trabajos eléctricos (protección craneal y facial, vestuario ignífugo, guantes y botas dieléctricas).

Posteriormente, los capítulos 4, 5 y 6 desarrollan, respectivamente, las temáticas relacionadas con la gestión de adquisiciones de bienes y servicios para trabajos eléctricos, el monitoreo y el seguimiento a los controles implementados, al igual que la implementación de capacitaciones, la validación de competencias y la evolución de la cultura de la seguridad en las empresas frente al riesgo eléctrico.

Después, en los capítulos 7 y 8 se proponen modelos para los planes de prevención y respuestas ante emergencias eléctricas, así como para la investigación de accidentes e incidentes eléctricos.

Por último, el capítulo 9 presenta dos ejemplos de tendencias en la industria minera, que representan elementos de innovación en cuanto a la gestión del riesgo eléctrico.



1. Marco normativo

En minería subterránea, la normatividad establece los criterios mínimos de seguridad, define responsabilidades y garantiza que las instalaciones eléctricas estén diseñadas, operadas y mantenidas bajo criterios técnicos que protejan la vida de los trabajadores y preserven la continuidad de la operación minera.

El incumplimiento de la normatividad eléctrica puede generar riesgos para la vida humana, como electrocuciones, quemaduras, lesiones graves, e incluso la muerte; riesgos operativos, como interrupciones de energía, daños en equipos y parálisis de la operación; riesgos legales, con sanciones de las entidades competentes; riesgos ambientales, derivados de incendios eléctricos en galerías que liberan gases tóxicos o contaminantes.

En este capítulo se presentan los principales cuerpos normativos aplicables en Colombia, así como estándares internacionales que fortalecen las prácticas de seguridad eléctrica en minería subterránea.

1.1. Normatividad eléctrica

El enfoque de las normas eléctricas, en lo respectivo a la seguridad y salud en el trabajo (SST) se dirige en dos direcciones: hacia establecer los requisitos para la construcción, la disposición y el montaje de los sistemas eléctricos, y hacia la manera como estos se intervienen, por personal electricista o no electricista, para su operación o mantenimiento.

Dentro de la normatividad colombiana, cabe destacar normas como el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) (Colombia, MME, 2024a), el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) (Colombia, MME, 2024b), la Resolución 5018 de 2019 (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b) y la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2050 del 2020 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación —Icontec—, 2020).

1.1.1. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) es la norma técnica que regula cómo deben construirse, operarse y mantenerse las instalaciones eléctricas en Colombia. En este se definen requisitos de:

- Puesta a tierra y sistemas de protección.
- Selección de materiales y equipos con certificación de conformidad.
- Protección contra sobrecorriente, cortocircuitos y fallas a tierra.
- Ambientes especiales, como minas subterráneas, donde se requieren equipos certificados para atmósferas explosivas.

El RETIE está alineado con normas internacionales de organismos como la International Electrotechnical Commission (IEC) y la National Fire Protection Association (NFPA).

El RETIE fue adoptado inicialmente mediante la Resolución 180398 del 2004 (Colombia, Ministerio de Minas y Energía —MME—, 2004), y ha sido actualizado y modificado en las últimas dos décadas. Al momento de elaboración de esta guía, la versión vigente del RETIE es la actualizada por el MME mediante la Resolución 40117 del 2024 (Colombia, MME, 2024a).

Esta versión se estructura en cuatro “libros”:

1. Disposiciones generales.
2. Productos objeto del RETIE.
3. Instalaciones objeto del RETIE.
4. Evaluación de la conformidad.

Específicamente, en los cuatro numerales que componen el artículo 3.28.6, se establecen una serie de requisitos para las instalaciones eléctricas en minas, que son adaptados, según lo señala la Resolución 180398, de la norma IEC 61557-8 y de la NTC 6057:2022 (Colombia, MME, 2004).

1.1.2. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

El Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) fue adoptado por el MME a través de la Resolución 181331 del 2009 (Colombia, MME, 2009), entrando en vigor a partir del año 2010, y pasando por varias actualizaciones hasta llegar a la versión vigente al momento de elaboración de la presente guía técnica. La última versión fue adoptada mediante la Resolución 40150 del 2024 del MME.

Como plantea en su artículo 1.1.1, el RETILAP

> [...] tiene por objeto fundamental establecer los requisitos técnicos que deben cumplir las instalaciones de todos los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual, la seguridad en el abastecimiento energético [...] previniendo, minimizando o eliminando los riesgos originados por la instalación y el uso de sistemas de iluminación. (Colombia, MME, 2024b)

La intención del Reglamento se orienta, entre otros aspectos, a la reducción de costos por iluminación, la disminución en el mantenimiento correctivo, la contribución al medio ambiente, así como a generar una mayor productividad y las condiciones de trabajo seguras y adecuadas para los trabajadores.

1.1.3. Resolución 5018 del 2019

Esta norma establece los lineamientos en seguridad y salud en el trabajo para las actividades ejecutadas en los procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b). Tiene un campo de aplicación en las empresas que presten o hagan uso del sistema eléctrico colombiano, además de toda actividad que involucre peligros eléctricos, como son, por ejemplo, las redes de telecomunicaciones, las construcciones civiles, iluminación y alumbrado.



La norma tiene asociada un anexo técnico que en su título I cubre aspectos relacionados con la seguridad y la salud en el trabajo para el sector eléctrico y algunas actividades relacionadas, estableciendo obligaciones en los aspectos de seguridad y salud en el trabajo (SST), como son los trabajos con tensión, los trabajos sin tensión y las distancias de seguridad para trabajos eléctricos.

1.1.4. NTC 2050 del 2020

Corresponde a la segunda actualización del Código Eléctrico Colombiano. La norma fue elaborada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec, 2020), tomando como base documentos de la NFPA. "El propósito de este *Código* es la salvaguardia práctica de las personas y de la propiedad contra los riesgos que se derivan del uso de la electricidad [...]" (Icontec, 2020, p. 17).

En este orden de ideas, la norma

> [...] cubre la instalación y la remoción de conductores, equipos y canalizaciones eléctricas; conductores, equipos y canalizaciones de comunicación y señalización, y cables y canalizaciones de fibra óptica para los siguientes usos:
> (1) Establecimientos [...] que incluyen edificios, estructuras, viviendas móviles [...]
> (2) Patios, terrenos, lotes de estacionamiento [...] subestaciones.
> (3) Instalaciones de conductores y equipos que se conectan a la fuente de alimentación de electricidad [...]. (Icontec, 2020, p.17).

No obstante, como especifica la norma en el inciso (B) del artículo 90.2:

> Este *Código* no cubre los siguientes usos:
> [...] (2) Instalaciones subterráneas en minas y la maquinaria móvil autopropulsada de minería de superficie y su cable eléctrico colgante [...]. (Icontec, 2020, p.18).

La inclusión de esta norma dentro de esta sección obedece a que, aunque el Código no aplica a instalaciones eléctricas dentro de túneles mineros, para que una operación subterránea funcione requiere una serie de instalaciones en superficie que presten servicios auxiliares, en las cuales este sí aplicaría.

En la actualización del RETIE del año 2024, cambió la obligatoriedad de los primeros siete capítulos de esta norma. Sin embargo, en algunas secciones, el RETIE remite a esta norma en artículos específicos, siendo estos de obligatoria aplicación, tanto para el sector minero como para los demás sectores económicos regidos por el RETIE.

1.2. Normatividad sobre seguridad minera

En Colombia existen dos reglamentos sobre higiene y seguridad minera, uno orientado a las operaciones mineras subterráneas y el otro a las labores mineras a cielo abierto. Entre los diversos temas que abordan, se encuentra el riesgo eléctrico. Sumado a esto, fue creado el Sistema Nacional de Seguridad Minera (SNSM).

1.2.1. Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas

Se encuentra en el Decreto 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2015b) y en el Decreto 944 del 2022 (Colombia, Presidencia de la República, 2022b), este último como actualización de algunos aspectos que incluyen temas eléctricos.

El Decreto 1886 de 2015 establece los lineamientos de seguridad aplicables a la minería subterránea en Colombia. En materia eléctrica, fija disposiciones específicas que garantizan la prevención de incendios, explosiones y accidentes eléctricos en minas, alineando la normativa nacional con estándares internacionales (Colombia, Presidencia de la República, 2015b).

Este decreto es el principal marco regulatorio de seguridad en minería subterránea en Colombia. En relación con el riesgo eléctrico, define aspectos como:

1. Todas las instalaciones eléctricas deben cumplir con el RETIE.
2. Se exige la supervisión de un ingeniero electricista o electromecánico, con matrícula profesional vigente, para los trabajos eléctricos efectuados por técnicos o tecnólogos.
3. Los trabajos eléctricos deben realizarse con autorización y bajo procedimientos seguros, aplicando los procedimientos adecuados para trabajos eléctricos (desconexión, bloqueo y etiquetado, verificación de ausencia de tensión, puesta a tierra y en cortocircuito, señalización y delimitación).
4. Se prohíbe utilizar instalaciones eléctricas improvisadas.
5. En minas de carbón con presencia de grisú, los equipos deben ser certificados a prueba de explosión (estos se identifican con el símbolo Ex, que identifica este tipo de equipos).
6. Las líneas eléctricas deben instalarse a una altura mínima sobre locomotoras eléctricas, para evitar contactos accidentales.
7. Obliga a que toda actividad minera cuente con un plan de emergencias, dentro del cual deben estar previstas las fallas o los incendios eléctricos.

A su vez, el Decreto 944 del 2022 modifica y actualiza disposiciones del Decreto 1886. Aquel refuerza la responsabilidad de las empresas en la gestión de riesgos críticos, entre ellos el riesgo eléctrico (Colombia, Presidencia de la República, 2022b).

Al comparar ambas normas, se encuentra que el Decreto 1886 de 2015 establece la base de la seguridad eléctrica en minería subterránea, vinculando las instalaciones al RETIE y exigiendo el uso de equipos a prueba de explosión (Colombia, Presidencia de la República, 2015b), mientras el Decreto 944 de 2022 actualiza y refuerza el reglamento, incluyendo mayor control sobre el titular minero, exigencias de certificación internacional (IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmos-

pheres —IECEx—, ATmosphères EXplosibles —ATEX—) y el fortalecimiento de requisitos de mantenimiento, inspección y capacitación (Colombia, Presidencia de la República, 2022b).

De este modo, el personal eléctrico (especialmente los profesionales) debe garantizar que cada instalación, equipo y procedimiento cumpla con los requisitos del Decreto 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2015b) y sus actualizaciones, priorizando equipos con certificación internacional (IECEx o ATEX), un mantenimiento documentado y sistemático, y la capacitación continua en seguridad eléctrica.

1.2.2. Decreto 539 del 2022

Constituye el reglamento específico para la higiene y la seguridad en las labores mineras a cielo abierto en Colombia. En materia de riesgo eléctrico, establece disposiciones fundamentales para la seguridad de las instalaciones y el uso de herramientas eléctricas en este tipo de operaciones (Colombia, Presidencia de la República, 2022a).

Específicamente, en su título III sobre instalaciones eléctricas, máquinas, equipos, talleres y herramientas, la norma plantea:

> Artículo 48. Instalaciones eléctricas en los proyectos mineros a cielo abierto. Para efectos del presente Reglamento y con el fin de garantizar la seguridad del personal en los proyectos mineros se debe [...] observar que:
> 1. Todos los cables eléctricos utilizados para la transmisión de energía a las palas, grúas, perforadoras y maquinarias o equipos mayores, en general, deben contar con las aislaciones y protecciones estándares diseñadas para tales fines. Dichos cables no deben ser expuestos a ser pisados o estropeados por vehículos. Los cables enterrados, deberán ser convenientemente señalizados e indicados en un plano para evitar dañarlos o entrar en contacto accidental con ellos;
> 2. Se prohíbe la manipulación, disposición y traslado de cables de alimentación a palas, perforadoras y en general de alta tensión, con equipos que no sean los adecuados para esa operación; y
> 3. Los transformadores y distribuidores de energía sean fijos o móviles, deberán ser de fácil acceso y estar resguardados de las operaciones inherentes al avance de la explotación [...].
> [...]
> Artículo 59. Uso de herramientas en general [...]
> 4. Las herramientas para trabajos eléctricos deben tener empuñadura de material dieléctrico o aislante. Los cables de alimentación de herramientas eléctricas portátiles deben cumplir con lo establecido en la normatividad vigente.
> 5. Cuando se realicen trabajos con herramientas eléctricas sobre superficies metálicas, éstas deben estar protegidas, la superficie aislada y el trabajador contar con los elementos de protección personal requeridos [...]
> Artículo 60. Trabajos con herramientas eléctricas en pisos húmedos o mojados. Se prohíbe realizar trabajos con herramientas eléctricas sobre pisos con presencia de agua; sin embargo, en los casos en que no sea posible suspender la actividad, ésta deberá contar con el permiso de trabajo expedido por el responsable en concordancia con lo dispuesto la normatividad vigente. (Colombia, Presidencia de la República, 2022a)

1.2.3. Decreto 0875 del 2025

Mediante este decreto se crea el Sistema Nacional de Seguridad Minera (SNSM), en desarrollo del artículo 24 de la Ley 2250 de 2022 (Colombia, Congreso de la República, 2022), adicionando la sección 6 al capítulo 1 del título V en la parte 2 del libro 2 en el Decreto 1073 de 2015 (único reglamentario del sector minas y energía) (Colombia, Presidencia de la República, 2025).

En el Decreto 0875 se definen las entidades que componen el SNSM, así como su objeto y objetivos, en los que, dentro del artículo 2.2.5.1.6.1.3, cabe destacar

> [...] 2. Fortalecer la seguridad minera en el territorio nacional mediante la identificación de peligros y control de riesgos en el marco del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, en concordancia con lo dispuesto por el Decreto 1072 de 2015.
> [...] 4. Definir las estrategias de identificación, intervención y control de los peligros asociados a la actividad minera, que fortalezcan la cultura de la prevención en el sector. (Colombia, Presidencia de la República, 2025).

Estos objetivos, por supuesto, aplican a la gestión del riesgo eléctrico.

1.3. Normas transversales sobre seguridad y salud en el trabajo

La SST ha sido una temática con expedición de normas que pueden rastrearse hasta finales de los años setenta del siglo pasado. En la década pasada, se expidieron normas que actualmente configuran una columna vertebral para la legislación en el área de SST, dentro de las que podemos destacar:

- Ley 1562 de 2012: moderniza el sistema de riesgos laborales en Colombia, integrando la gestión de riesgos eléctricos en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). Esta norma establece el término “seguridad y salud en el trabajo” como el aplicable a la disciplina del conocimiento referida previamente como “seguridad industrial y salud ocupacional” (Colombia, Congreso de la República, 2012).
- Decreto 1072 de 2015: este es el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo en Colombia, en el cual se compilan las normas de seguridad y salud en el trabajo, obligando a los empleadores a implementar medidas de prevención, y contiene toda la regulación sobre el SG-SST (Colombia, Presidencia de la República, 2015a).
- Resolución 0312 de 2019: define estándares mínimos del SG-SST, entre ellos la identificación y el control de riesgos, aplicable para los riesgos eléctricos (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019a).

1.4. Sanciones

La normatividad aplicable al manejo del riesgo eléctrico contempla potenciales sanciones en diversas normas. Las sanciones por incumplimiento en materia de requerimientos de seguridad en instalaciones eléctricas o trabajos asociados con el riesgo eléctrico pueden ir desde multas hasta la suspensión del título minero.

La Resolución 5018 de 2019 contempla, en su artículo 4, amparado por el artículo 91 del Decreto 1295 de 1994 y el artículo 13 de la Ley 1562 de 2012, sanciones por incumplimiento de la norma, principalmente enfocadas en multas y suspensión temporal de actividades (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b).

A su vez, el Decreto 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2015b) también contempla sanciones por multas y remite a la Ley 685 de 2001 en sanciones adicionales, que en casos graves pueden llevar incluso a la caducidad del título minero, como lo menciona esta última norma en su "Artículo 112. *Caducidad.* El contrato podrá terminarse por la declaración de su caducidad, exclusivamente por las siguientes causas: [...] g) El incumplimiento grave y reiterado de las regulaciones [...] de higiene, seguridad y laborales [...]" (Colombia, Congreso de la República, 2001).

Adicionalmente, existe la posibilidad de enfrentar posibles demandas de tipo civil o inclusive responsabilidad penal, que se derive de eventos con accidentes mortales o emergencias eléctricas.

1.5. Normatividad complementaria y de referencias

Algunas normas técnicas adicionales para tomar en cuenta en la gestión del riesgo eléctrico son las siguientes.

1.5.1. Normas de la National Fire Protection Association

- NFPA 70 (NEC – National Electrical Code, Código Eléctrico Nacional): diseño de instalaciones eléctricas seguras (NFPA, 2023).
- NFPA 70E: seguridad eléctrica en el trabajo, incluye protocolos de Lockout-Tagout (LOTO) (traducido como bloqueo y etiquetado), distancias de seguridad y análisis de arco eléctrico (NFPA, 2024a).
- NFPA 77: control de electricidad estática, aplicable en ambientes pulverulentos, como minas de carbón (NFPA, 2024b).
- NFPA 497: recomendaciones sobre la clasificación de líquidos, gases y vapores inflamables y de áreas clasificadas (NFPA, 2024c).
- NFPA 499: recomendaciones sobre la clasificación de polvos combustibles en áreas clasificadas (NFPA, 2024d).

1.5.2. Normas de la International Electrotechnical Commission

- IEC 60079-0:2017: requisitos de construcción, ensayos y etiquetado de los equipos eléctricos usados en atmósferas explosivas (llevan el símbolo Ex) (IEC, 2017).
- IEC 60079-10-1:2020: aborda la clasificación de áreas donde existe riesgo por la presencia de gases o vapores inflamables que potencialmente puedan configurar atmósferas explosivas (IEC, 2020a).
- IEC 60079-10-2:2015: trata sobre la identificación y clasificación de áreas en las que por presencia de polvos combustibles podrían generarse atmósferas explosivas (IEC, 2015).
- IEC 60529:2013 CSV: desarrolla la clasificación del código IP – índice de protección contra ingreso de sólidos y líquidos (IEC, 2013).
- IEC 60900:2018: herramientas manuales para trabajos en tensión (IEC, 2018).
- IEC 60204:2025 Series: requisitos para el equipo eléctrico de la maquinaria industrial (IEC, 2025a).
- IEC 60417:2025: símbolos gráficos para la señalización de equipos (IEC, 2025b).
- IEC 61557-8:2014: seguridad eléctrica en redes de distribución de baja tensión (IEC, 2014).
- IEC 62262:2002: expone la clasificación del código IK – índice de protección contra impacto (IEC, 2002).

1.5.3. Norma de la International Organization for Standardization

- ISO 80079 - capítulos 36, 37 y 38: sobre atmósferas explosivas y los equipos y dispositivos para uso en este tipo de áreas (ISO, 2019b).

1.5.4. Directiva ATEX

- Directiva 94/9/CE (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 1994).
- Directiva 1999/92/CE (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 1999).

1.5.5. Norma Técnica Colombiana

- NTC 6057:2022: cables portátiles y de alimentación de potencia para uso en minas y aplicaciones similares (Icontec, 2022).

Como cierre de este capítulo, en la Tabla 3 se comparan las principales normas del sector eléctrico en Colombia y algunas de las normas internacionales más relevantes en este ámbito.

Tabla 3. Comparativo entre normatividad eléctrica colombiana e internacional

Aspecto	RETIE (Ministerio de Minas y Energía)	Resolución 5018 (Ministerio del Trabajo)	NTC 2050	IEC 60079 / IEC 60204	NFPA 70E
Objeto	El RETIE fue expedido en su última versión mediante la Resolución 40117 del 2 de abril de 2024, y se encuentra contenido en cuatro libros (Colombia, MME, 2024a)	Por la cual se establecen lineamientos en seguridad y salud en el trabajo en los procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b)	Es la norma colombiana basada en el NEC, un estándar de la NFPA que establece las reglas para el diseño, la instalación y la inspección segura de las instalaciones eléctricas (Icontec, 2020)	• IEC 60079: es una norma internacional que proporciona un marco para el diseño, la fabricación, la instalación y el mantenimiento de equipos eléctricos en atmósferas explosivas (gases, vapores o polvos combustibles) (IEC, 2015) • IEC 60204: establece los requisitos para el equipo eléctrico de la maquinaria industrial, con el fin de garantizar la seguridad de las personas, la propiedad y el funcionamiento de las máquinas (IEC, 2025a)	La NFPA 70E es la norma para la seguridad eléctrica sobre prácticas laborales seguras para proteger al personal, reduciendo la exposición a los principales peligros eléctricos (NFPA, 2024a)
Ámbito	Nacional: obligatorio cumplimiento en Colombia	Nacional: obligatorio cumplimiento en Colombia	Se debe cumplir solo si el RETIE lo menciona en artículos específicos	Internacional: aplicable según adopción y referencia nacional (IEC, 2017, 2025)	Se debe cumplir solo si el RETIE o la Resolución 5018 de 2019 lo menciona en artículos específicos (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b
Enfoque principal	• Instalaciones eléctricas • Productos utilizados en las instalaciones eléctricas • Certificación de personas	Lineamientos para realizar actividades eléctricas de forma segura	Lineamientos de diseño e implementación de las instalaciones eléctricas	Atmósferas explosivas en diferentes lugares	Lineamientos para llevar a cabo actividades eléctricas de forma segura

Aspecto	RETIE (Ministerio de Minas y Energía)	Resolución 5018 (Ministerio del Trabajo)	NTC 2050	IEC 60079 / IEC 60204	NFPA 70E
Inspecciones	Se deben hacer inspecciones periódicas: • Instalaciones especiales, minas, túneles y cavernas; cada 5 años. • Instalaciones de uso final y sus instalaciones asociadas a redes de distribución y transformación; cada 10 años. • Instalaciones de generación, líneas de transmisión, subestaciones y redes de distribución; cada 15 años	Tiene fundamento en un ciclo PHVA; por lo tanto, no está basada en inspecciones, sino en el mejoramiento continuo	No aplica. Se integra al RETIE en los artículos que aplique	Aplicable según adopción y referencia nacional	No aplica. Se integra al RETIE o a la Resolución 5018 de 2019, en los artículos que apliquen frente al tema de inspecciones (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b)

IEC: International Electrotechnical Commission; NEC: National Electrical Code, Código Eléctrico Nacional; NFPA: National Fire Protection Association; NTC: Norma Técnica Colombiana; PHVA: Planear-Hacer-Verificar-Actuar; RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

Fuente: elaborada a partir de análisis de las normas mencionadas.



2. Conceptos generales sobre las instalaciones eléctricas

El presente capítulo contiene las bases técnicas necesarias para comprender cómo se estructuran, diseñan y operan las instalaciones eléctricas, siguiendo el ciclo de la electricidad en generación y transmisión, hasta llegar a la distribución y uso final en minería subterránea.

Se abordan la definición de una instalación eléctrica, las principales variables eléctricas que determinan su comportamiento, los criterios básicos de diseño, los componentes de planos eléctricos, así como los elementos, equipos y dispositivos de medición para control del funcionamiento conforme a la normativa aplicable.

2.1. Definición de instalación eléctrica

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) determina, en el artículo 3.1.1, de su libro 3 que

> [...] se consideran como instalaciones eléctricas los circuitos eléctricos con sus componentes, tales como, conductores, equipos, máquinas y aparatos que conforman un sistema eléctrico y que se utilizan para la generación, transmisión, transformación, distribución o uso final de la energía eléctrica; sean públicas o privadas y estén dentro de los límites de tensión y frecuencia aquí establecidos, es decir, tensión nominal mayor o igual a 50 V en corriente continua o más de 25 V en corriente alterna con frecuencia de servicio nominal inferior a 1.000 Hz. (Colombia, MME, 2024a).

En una mina subterránea se utilizan instalaciones eléctricas en aspectos como la alimentación y la distribución eléctrica, los sistemas de iluminación, el suministro a los equipos de producción, ventilación, sistemas de bombeo y desagüe, entre otros.

2.2. Variables eléctricas

En toda instalación eléctrica, la comprensión de las variables eléctricas fundamentales resulta esencial para garantizar tanto la eficiencia operativa como la seguridad de las personas y de los equipos, así como para entender cómo se comporta la electricidad.

Las variables eléctricas determinan el comportamiento de los sistemas eléctricos e influyen en la toma de decisiones en aspectos como la selección de conductores, dispositivos de protección o equipos de maniobra, y además permiten evaluar la estabilidad y la confiabilidad del suministro eléctrico en ambientes de alta exigencia.

Dentro de las variables eléctricas básicas encontramos:



- *Voltaje (V) o diferencia de potencial.* Energía eléctrica por unidad de carga que impulsa a los electrones a moverse por un circuito. Se mide en voltios (V) (Floyd, 2007, p. 23).



- *Corriente eléctrica (I).* Flujo de cargas eléctricas (normalmente electrones) a través de un conductor. Se mide en amperios (A). De acuerdo con su comportamiento esta puede ser corrientre directa o corriente alterna (Floyd, 2007, pp. 23-24).



- *Resistencia eléctrica (R).* Oposición que presenta un material al paso de la corriente eléctrica. Se mide en ohmios (Ω) y depende del material, la longitud, el área de la sección transversal y la temperatura del conductor (Floyd, 2007, p. 25).



- *Potencia eléctrica (P).* Cantidad de energía eléctrica que se consume o se genera por unidad de tiempo. Se mide en vatios (W) (Floyd, 2007, pp. 98-99).

2.3. Diseños eléctricos

El diseño de instalaciones eléctricas en minas subterráneas debe cumplir con tres principios básicos:

1. *Seguridad de las personas,* apuntando a dos aspectos fundamentales:
   - Prevención de electrocuciones: es crucial que el diseño se enfoque en instalaciones seguras para evitar cualquier tipo de circulación de corriente por las personas.
   - Prevención de incendios y explosiones: las conexiones deben estar firmemente acopladas para evitar recalentamientos, que pueden ser una fuente de incendio. Se deben emplear equipos protegidos contra explosiones en áreas con presencia de gases explosivos.
2. *Confiabilidad operativa (continuidad del suministro):* los sistemas eléctricos deben garantizar un suministro ininterrumpido a servicios esenciales como la ventilación, la iluminación y el bombeo de agua, entre otros. La alimentación eléctrica debe ser confiable para el funcionamiento de equipos de perforación y transporte, como malacates y bandas transportadoras.
3. *Compatibilidad con el ambiente minero:* el diseño debe considerar la alta humedad, el polvo, la presencia de gases explosivos, las vibraciones constantes y los espacios reducidos propios de la minería subterránea. Esto implica el uso de equipos diseñados para resistir estas condiciones y la correcta protección de los cables y las conexiones, para evitar daños o fallas.

Es importante tener en cuenta lo que menciona el RETIE en relación con el diseño eléctrico, en su título 3:

> Las instalaciones que conllevan mayores riesgos o alta complejidad deben contar con un diseño que sirva de mecanismo para prevenir o minimizar tales riesgos, el diseño también debe ser un instrumento de planeación de la construcción, operación y mantenimiento de la instalación eléctrica. Bajo estas consideraciones el diseño eléctrico, debe ser ejecutado por profesionales de la ingeniería cuya especialidad esté relacionada con el tipo de obra a desarrollar y cuente con la competencia otorgada por su matrícula profesional, conforme a las Leyes 51 de 1986 y 842 de 2003, o normas que las reglamenten, modifiquen o sustituyan. (Colombia, MME, 2024a)

Asimismo, en su artículo 3.28.6.1. Requisitos generales, señala que:

> [...] b. Toda mina superficial o bajo tierra, donde se use electricidad debe disponer de planos o diagramas que muestren información actualizada del sistema eléctrico, la cual debe estar siempre disponible para su operación, mantenimiento o requerimiento de la autoridad competente. (Colombia, MME, 2024a)

2.4. Planos eléctricos

Los planos eléctricos son representaciones gráficas de una instalación eléctrica, que muestran la ubicación y la conexión de todos sus componentes. Estos utilizan símbolos estandarizados para detallar la ubicación de elementos como transformadores, plantas de emergencia, seccionadores, interruptores automáticos, tomacorrientes, lámparas y tableros eléctricos, así como las rutas de los cables y la potencia de cada circuito. Son esenciales para el diseño, la ejecución, el mantenimiento y la seguridad de una instalación eléctrica.

2.4.1. Componentes clave de un plano eléctrico

Estos componentes son:

- *Simbología:* símbolos estandarizados que representan cada componente eléctrico.
- *Ubicación física:* muestra la posición exacta de los dispositivos en planta, tomando como referencia el plano arquitectónico del edificio.
- *Cuadro de cargas:* indica la potencia eléctrica requerida por cada circuito y los elementos que lo componen.
- *Diagrama unifilar:* un esquema simplificado que muestra la disposición general de los circuitos eléctricos.
- *Información técnica:* incluye especificaciones de cables, protecciones, tensiones y normativas de seguridad.

Los elementos mencionados sirven para:

- *Diseño:* se usan como guía para la distribución eficiente de la energía eléctrica y la operatividad.
- *Instalación:* permiten una instalación precisa, ya que muestran dónde deben ir cada componente y cómo deben conectarse.
- *Mantenimiento y reparaciones:* facilitan la localización de fallos o problemas en la instalación, simplificando las tareas de mantenimiento.
- *Seguridad:* garantizan que la instalación se realice de manera segura y conforme a las normativas vigentes, protegiendo a las personas y los equipos.

2.4.2. Símbolos más utilizados

El RETIE menciona, en su artículo 1.3.4, los símbolos eléctricos mostrados en la Figura 2 y la Figura 3.

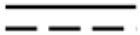
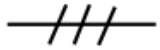
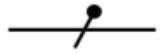
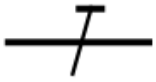
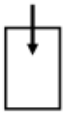
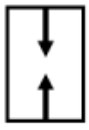
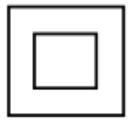
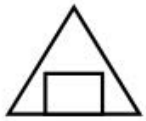
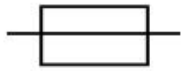
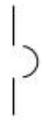
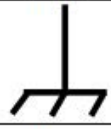
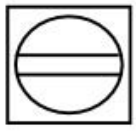
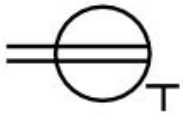
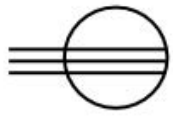
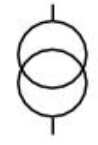
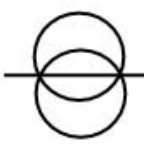
					
Caja de empalme	Corriente continua	Central hidráulica en servicio	Central térmica en servicio	Conductores de fase	Conductor neutro
					
Conductor de puesta a tierra	Conmutador unipolar	Contacto de corte	Contacto con disparo automático	Contacto sin disparo automático	Contacto operado manualmente
					
Descargador de sobretensiones	Detector automático de incendio	Dispositivo de protección contra sobretensiones – DPS	DPS tipo varistor	Doble aislamiento	Empalme

Figura 2. Simbología eléctrica - parte 1
Fuente: adaptada de Colombia, MME (2024a, p. 32, Libro 1).

					
Equipotencialidad	Extintor para equipo eléctrico	Fusible	Generador	Interruptor, símbolo general	Interruptor automático en aire
					
Interruptor bipolar	Interruptor con luz piloto	Interruptor unipolar con tiempo de cierre	Interruptor diferencial	Interruptor unipolar de dos vías	Interruptor seccionador para AT
					
Interruptor termomagnético	Lámpara	Masa	Parada de emergencia	Seleccionador	Subestación
					
Tablero general	Tablero de distribución	Tierra	Tierra de protección	Tierra aislada	Tomacorriente, símbolo general
					
Tomacorriente en el piso	Tomacorriente monofásico	Tomacorriente trifásico	Transformador símbolo general	Transformador de aislamiento	Transformador de seguridad

AT: Alta tensión

Figura 3. Simbología eléctrica - parte 2
Fuente: adaptada de Colombia, MME (2024a, p. 32, Libro 1).

Es importante tener en cuenta que los símbolos son informativos. La comprensión de un plano o de un diagrama unifilar en su totalidad requiere de una formación más técnica en la parte eléctrica.

2.4.3. Memorias de cálculo

Son documentos técnicos que justifican los diseños de una instalación eléctrica. Detallan los resultados que aseguran que la instalación sea segura y eficiente, incluyendo el dimensionamiento de conductores, la potencia, la protección y la caída de tensión. Son esenciales para proyectos, ya sean industriales o residenciales, y proporcionan el sustento de ingeniería necesario para su correcto funcionamiento.

En las memorias de cálculo se incluye el diseño y la normatividad, es decir, se describe la instalación, incluyendo planos, ubicación y la normativa técnica aplicable.

Las memorias de cálculo más comunes son las siguientes:

- *Cálculo de conductores:* se determina el calibre y los tipos de cable y tubería necesarios basándose en la corriente y otros factores.
- *Cálculo de protecciones:* se dimensionan los dispositivos de protección (como interruptores) para garantizar la seguridad.
- *Cálculo de caída de tensión:* se verifica que la tensión se mantenga dentro de los límites aceptables a lo largo de la instalación.
- *Cálculo de corrientes de cortocircuito:* se evalúan los posibles cortocircuitos, para diseñar sistemas de protección adecuados.
- *Cálculo del diseño del sistema de puesta a tierra:* se compone de varillas (u otros elementos), conductores que las conectan, conexiones generales, entre otros aspectos.
- *Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) y medidas de protección,* como el diseño de apantallamiento.

2.4.4. Diagrama unifilar

Un diagrama unifilar es un plano simplificado de una instalación eléctrica, que muestra el flujo de energía mediante una sola línea, para representar los circuitos y los componentes principales, como transformadores, interruptores y tableros (véase Figura 4). Su propósito es ofrecer una visión general y rápida de la disposición de la red eléctrica, lo que facilita el diseño, el mantenimiento, el análisis y el cumplimiento de la normativa.

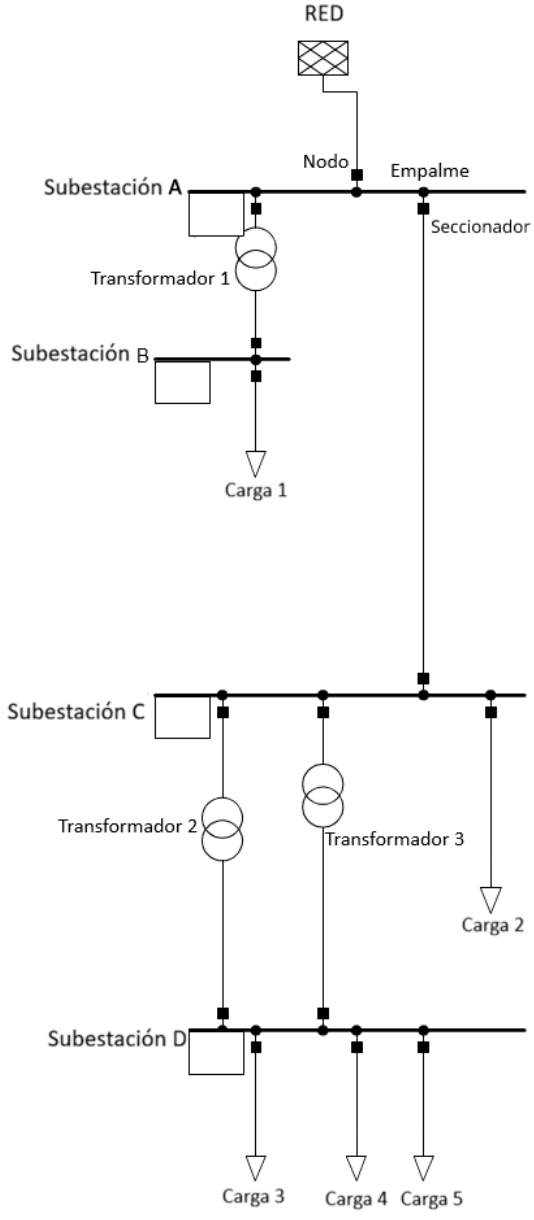


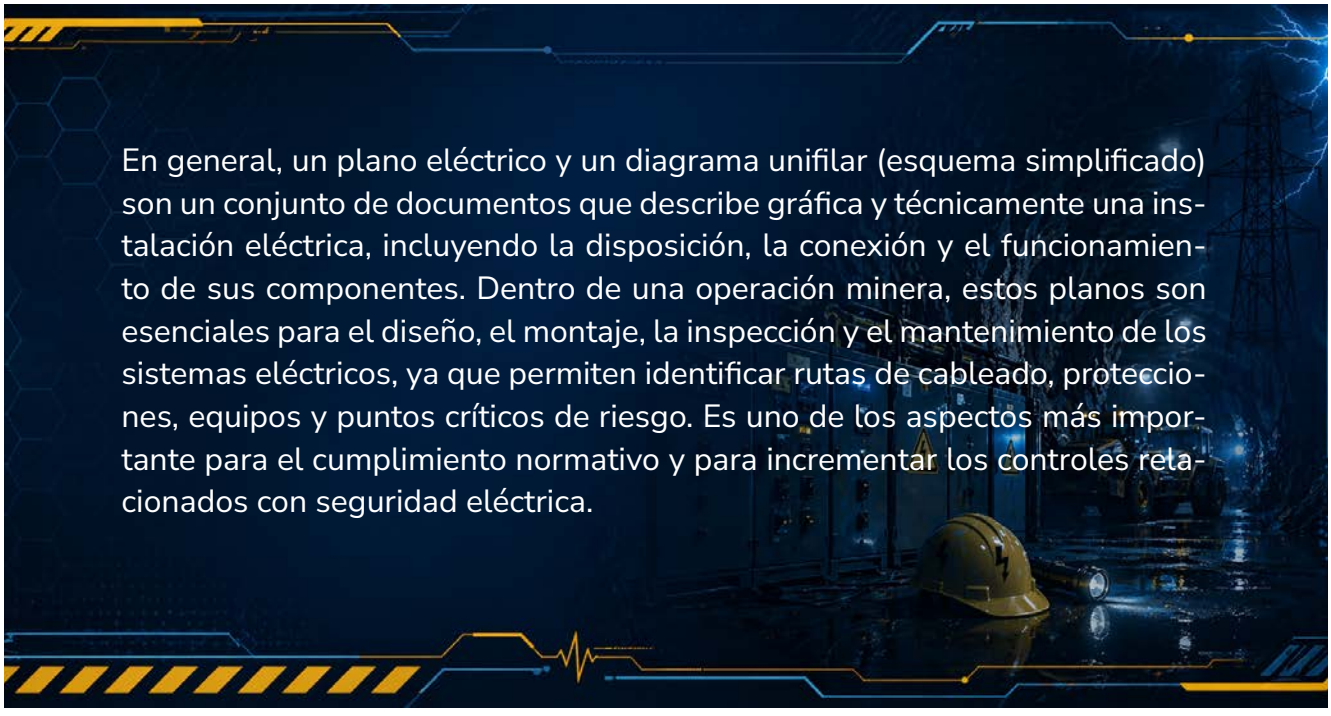
Figura 4. Diagrama unifilar
Fuente: elaboración propia.

Los diagramas unifilares incluyen la información sobre:

- *Componentes:* usa símbolos estándar para representar elementos como acometidas, medidores, interruptores principales y de protección, tableros de distribución, cargas (motores, equipos) y el sistema de tierra.
- *Conexiones:* muestra cómo están interconectados estos componentes y cómo fluye la energía desde la entrada hasta las cargas.
- *Información técnica:* puede incluir datos como calibres de cables, capacidad de protección, datos de transformación, entre otros.

Por ende, estos son necesarios para:

- *Planificación:* es fundamental para el diseño y la planificación de instalaciones, asegurando que todos los elementos estén correctamente integrados.
- *Mantenimiento y reparación:* facilita la identificación rápida de fallas, diagnósticos y la realización de reparaciones, minimizando los tiempos de inactividad.
- *Cumplimiento normativo:* es un requisito obligatorio en muchos casos, como solicitudes de aumento de carga, nuevas construcciones o ampliaciones, y para cumplir con normativas locales.
- *Gestión y seguridad:* permite analizar la eficiencia del sistema, coordinar protecciones y garantizar la seguridad de la operación, al identificar puntos críticos y riesgos potenciales.



2.5. Elementos y equipos eléctricos

La correcta identificación y comprensión de los elementos y equipos eléctricos es un componente esencial en el diseño, la operación y el mantenimiento de las instalaciones eléctricas de las minas subterráneas, ya que cada proceso (generación, transmisión, distribución, uso final) cumple una función específica dentro del sistema.

A continuación se hace una breve descripción de los principales elementos y equipos eléctricos que se usan en relación con una mina subterránea.

2.5.1. Elementos y equipos en generación y transmisión

Las instalaciones y equipos eléctricos en generación y transmisión constituyen la infraestructura esencial del sistema eléctrico de potencia, encargada de producir la energía, elevar su nivel de tensión y transportarla de manera segura y eficiente hasta los centros de consumo.

2.5.1.1. Central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es una instalación que convierte la energía del agua en movimiento en energía eléctrica. Utiliza presas o embalses para almacenar agua y luego liberarla a través de turbinas que, al girar, mueven generadores para producir electricidad. Es una fuente de energía renovable, limpia y una de las más antiguas (véase Figura 5).

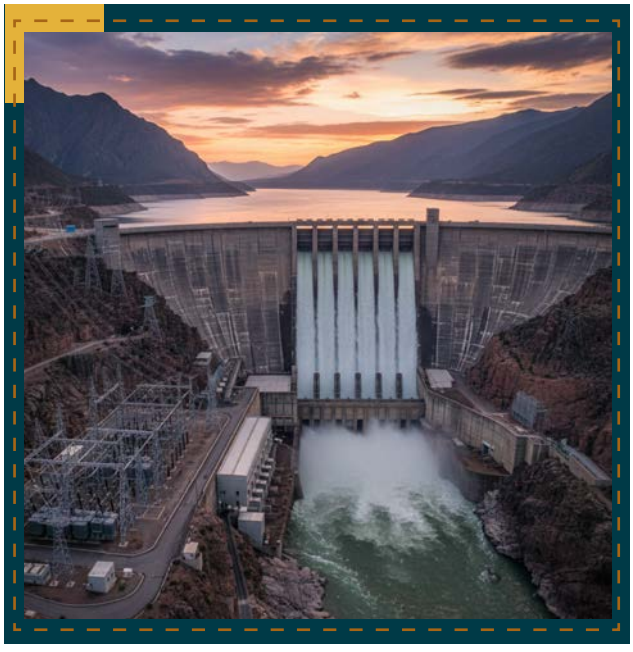


Figura 5. Central hidroeléctrica
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.5.1.2. Central térmica

Una central térmica es una instalación que convierte la energía térmica de un combustible en electricidad (véase Figura 6). Este calor se obtiene principalmente por la combustión de combustibles fósiles, como carbón o gas natural, aunque también puede provenir de fuentes renovables como la biomasa.



Figura 6. Central térmica
Fuente: generada con la IA Meta (Meta, 2025).

El proceso de la central térmica involucra una caldera para calentar agua y producir vapor a alta presión, el cual mueve una turbina que está conectada a un generador eléctrico para producir la energía. En lugar de agua para mover el generador, utiliza vapor y esa es la diferencia principal con la central hidroeléctrica.

2.5.1.3. Líneas de transmisión

Las líneas de transmisión son estructuras compuestas por cables conductores y soportes (torres), que transportan energía eléctrica a grandes distancias, desde las centrales generadoras hasta las subestaciones tipo patio (véase Figura 7).

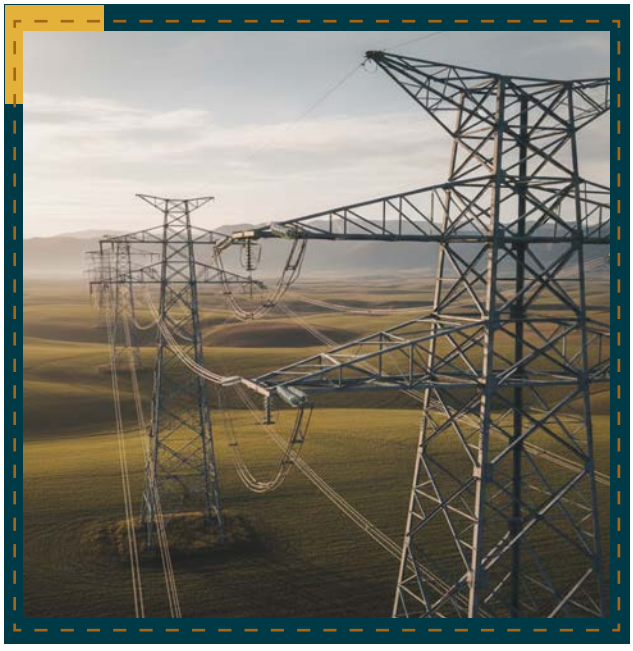


Figura 7. Línea de transmisión
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Estas líneas son aéreas y transportan electricidad en alta o extra alta tensión (57,5 kV-500 kV) para minimizar las pérdidas de energía en el trayecto. Desde la central de generación hidráulica o térmica, la energía llega por medio de las líneas de transmisión a las subestaciones tipo patio, desde donde se distribuye en la población y en las diversas actividades económicas, incluida la minería.

2.5.1.4. Subestación tipo patio

Es una instalación eléctrica ubicada al aire libre, caracterizada por tener sus equipos principales expuestos y montados en un espacio abierto a nivel del suelo, que conectan y distribuyen energía eléctrica a través de una variedad de componentes (véase Figura 8).



Figura 8. Subestación tipo patio
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Se utilizan tanto en áreas rurales, para conectar comunidades remotas, como en urbanas, para distribuir energía a grandes poblaciones. Se utilizan para bajar el nivel de tensión de alta o extra alta tensión (57,5 kV-500 kV) a media tensión (1000 V-57,5 kV) y posteriormente a baja tensión (25-1000 V).

En las minas de gran tamaño es normal encontrar este tipo de subestaciones.

2.5.1.5. Transformador de potencia

Es un equipo ubicado en la subestación tipo patio y, en general, es una máquina eléctrica estática que aumenta o disminuye la tensión y la corriente alterna para hacerla más útil y eficiente para la transmisión y la distribución de energía eléctrica.

Funciona mediante el principio de inducción electromagnética y se utiliza en lugares clave de la red eléctrica para garantizar que la energía llegue a su destino con los niveles de tensión adecuados. Por ejemplo: Entrada 115 000 V – Salida 44 000 V – 13 200 V.

Estos transformadores y sus componentes (núcleo y bobinas) se sumergen en un aceite dieléctrico (mineral, vegetal o sintético) para generar aislamiento eléctrico y enfriamiento, lo que permite transformar voltajes de manera eficiente, disipar el calor generado y proteger contra la humedad, siendo ideales para altas potencias y aplicaciones industriales y de subestaciones, aunque requieren un mantenimiento más riguroso que los de tipo seco.

Otro tipo de transformadores son secos, por lo tanto, no usan aceite para aislar y enfriar sus componentes, sino que emplean aire ambiente o materiales sólidos, como resinas, para disipar el calor y aislar los devanados (bobinas de conductor eléctrico enrolladas alrededor del núcleo magnético), lo que los hace más seguros, ecológicos y adecuados para interiores, edificios comerciales o industrias, ya que reducen riesgos de incendios o derrames tóxicos.

Los transformadores en aceite van en exteriores (subestaciones, postes, redes de distribución) (véase Figura 9a), o en interiores, provistos de mucha seguridad contra incendios, por su mayor capacidad y eficiencia en grandes potencias. Los transformadores en seco (véase Figura 9b) son ideales para interiores (hospitales, centros de datos, edificios) por su seguridad (no inflamables). Además, estos necesitan buena ventilación y protección contra polvo y humedad, siendo perfectos para menores potencias y cerca de cargas sensible.

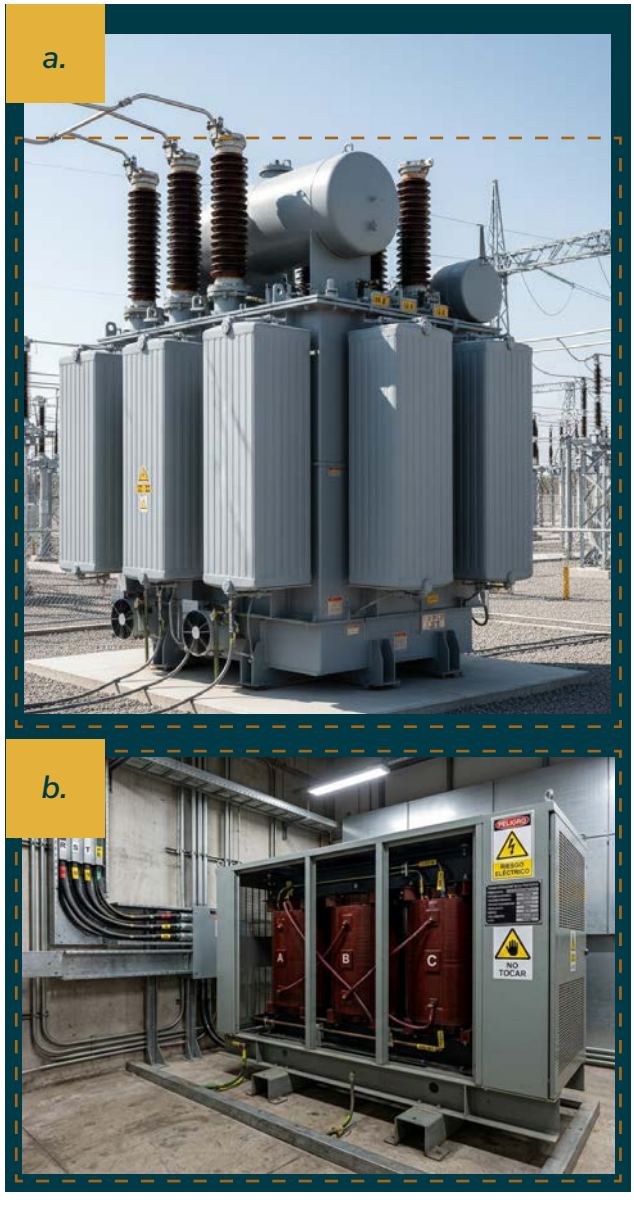


Figura 9. Transformadores de potencia
a. en aceite; ***b.*** en seco
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.5.1.6. Cuarto eléctrico

Luego de disminuir el nivel de tensión, la energía se distribuye desde un cuarto eléctrico. Este es un espacio físico dedicado a albergar seccionadores, tableros, centro de control de motores, plantas de emergencia, entre otros (véase Figura 10).

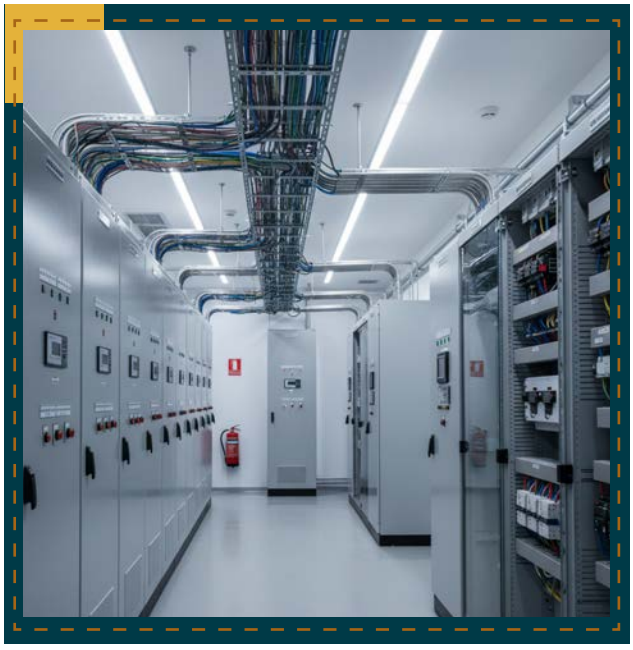


Figura 10. Cuarto eléctrico
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Su función es centralizar el suministro y controlar la energía eléctrica en baja o media tensión para todo un edificio, industria o instalación en general.

2.5.1.7. Planta de emergencia

Es un sistema de respaldo que genera electricidad cuando el suministro principal falla (el generado desde la central hidroeléctrica o térmica), para evitar interrupciones en el servicio. Se compone de un motor de combustión interna acoplado a un generador, que convierte el movimiento en energía eléctrica (véase Figura 11).



Figura 11. Planta de emergencia
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Estos equipos son vitales en hospitales, industrias y minas, para garantizar la continuidad de las operaciones y los servicios básicos, como ventilación, suministro de agua, entre otros.

2.5.1.8. Granja solar

Los paneles solares son dispositivos que capturan la energía del sol y la convierten en electricidad utilizable.

Están compuestos por células fotovoltaicas hechas de materiales semiconductores, como el silicio, que generan una corriente eléctrica al exponerse a la luz solar, a través del efecto fotovoltaico (véase Figura 12).



Figura 12. Paneles solares
Fuente: fotografía del banco de imágenes de la Universidad Nacional de Colombia y la Agencia Nacional de Minería.

Esta energía, que inicialmente es corriente continua, se transforma en corriente alterna mediante un inversor, para poder alimentar aparatos eléctricos en hogares o industrias.

Un panel suele tener entre 60 y 72 células de silicio cristalino, y provee aproximadamente de 1,5 a 2,5 kWh/día, dependiendo de la radiación, la orientación del panel y potenciales pérdidas.

Algunas minas utilizan esta fuente de energía renovable para su abastecimiento energético.

2.5.1.9. Transferencia automática

Una transferencia automática es un dispositivo que cambia automáticamente el suministro de energía de una fuente principal (como la red eléctrica normal) a una fuente de respaldo (como un generador) cuando la principal falla o se interrumpe (véase Figura 13).



Figura 13. Transferencia automática

Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Este sistema monitorea continuamente el voltaje y la frecuencia de las fuentes de energía y realiza la conmutación, sin intervención manual, para asegurar un suministro eléctrico ininterrumpido. Lo anterior evita la exposición directa del operario con el sistema energizado.

2.5.2. Elementos y equipos para distribución y uso final de la energía en una mina subterránea

Las instalaciones y los equipos de distribución y uso final de la energía eléctrica conforman el sistema que lleva la corriente desde la subestación principal hasta los frentes de trabajo, garantizando la continuidad operativa y la seguridad en ambientes con condiciones exigentes.

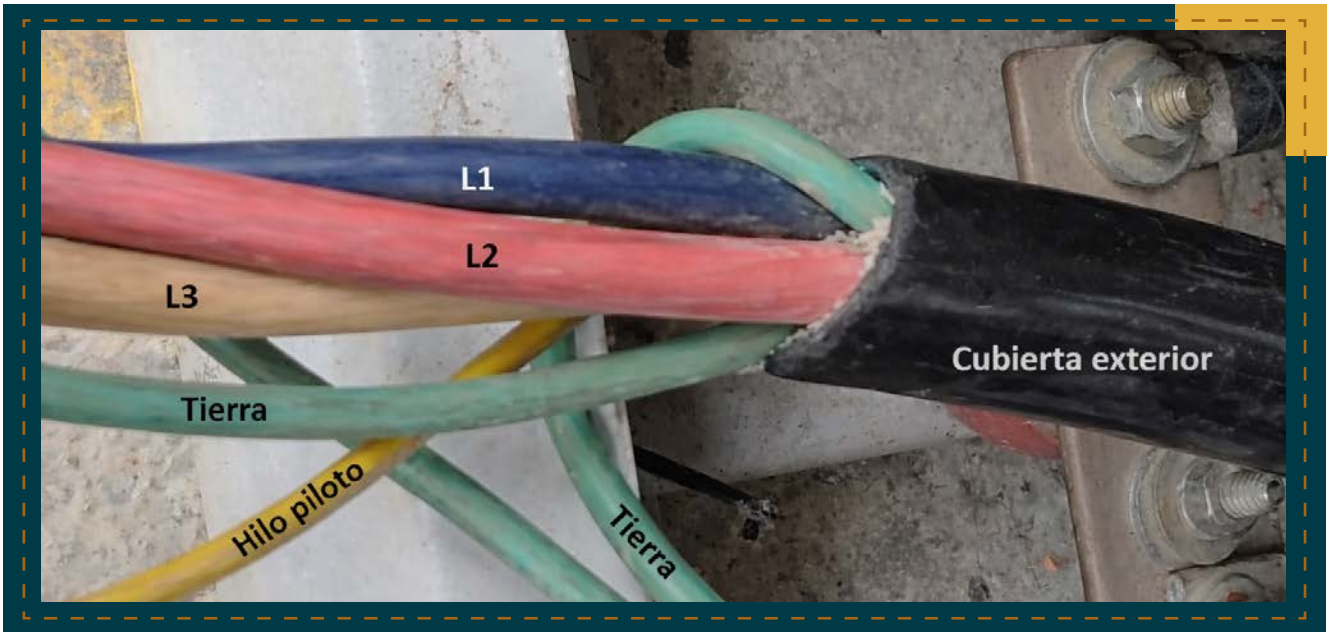
Su diseño y operación deben considerar la movilidad de las labores, la presencia de humedad, polvo y gases, y la necesidad de protección contra fallas eléctricas, asegurando confiabilidad, selectividad y control del riesgo eléctrico en el entorno subterráneo.

2.5.2.1. Cableado eléctrico de baja tensión (25 V-1000 V)

Del cuarto eléctrico ubicado en el exterior o al interior de una operación minera se distribuyen los diferentes circuitos ramales en baja tensión, para suministrar energía al interior de la mina. Para eso se utiliza un cableado eléctrico de baja tensión, que debe ser especial, por las condiciones del ambiente minero en el que se encontrará expuesto.

2.5.2.2. Cable minero

Un cable minero es un conductor eléctrico especializado, diseñado para operar en entornos de minería exigentes y peligrosos, soportando condiciones extremas, como temperaturas altas, humedad, productos químicos y esfuerzos mecánicos. Su función principal es transmitir energía eléctrica de manera segura y fiable a equipos, como palas, perforadoras, bombas, jumbos, entre otros (véase Figura 14).



L1; L2; L3: son las fases o conductores que transportan la energía.

Figura 14. Sección de cable minero con sus componentes
Fuente: ajustado del banco de imágenes de la Universidad Nacional de Colombia y la Agencia Nacional de Minería.

- *Tipo G:* cables con una tierra conductora, utilizados en equipos móviles y portátiles.
- *Tipo G-GC (Ground Check):* similar al Tipo G, pero incluye un cable de verificación de tierra para asegurar la conexión a tierra. Existe también el cable tipo G-CGC *(Check Ground Conductor*) que tiene un sistema de verificación de tierra más robusto.
- *Tipo SHD-GC:* combina un cable blindado *(Shielded Heavy Duty)* con el verificador de tierra (GC). Es adecuado para equipos móviles pesados, como palas, dragas y perforadoras.
- *Tipo W:* diseñado para ser flexible y fácil de reparar; se usa comúnmente en vagones transportadores y equipos móviles.

Los cables portátiles de potencia instalados al interior de las minas o en sus vías de evacuación, que operen a tensiones entre 1000 y 4600 V, deben ser conductores de potencia apantallados individualmente y con conductor de tierra, tal como el tipo SHD, o conductores de potencia apantallados individualmente, con conductores de tierra y un conductor de monitoreo de tierra, como el SHD-GC o similares, aislados por lo menos para 5 kV. Para tensiones superiores deben ser aislados a 25 kV.

Para identificar si un cable es tipo minero, se puede observar si en su recubrimiento aislante se evidencian las siguientes letras: W, G, G-GC, G-CGC, SHD-GC, SHD-CGC o similares. Asimismo, un dato importante sobre el cableado es la información del número de hilos al interior, que la suministra cada fabricante, y es esencial cuando se están realizando los diseños y montajes.

Es necesario tener en cuenta que, en algunos casos, las minas subterráneas tienen subestaciones de media tensión dentro del socavón, aparte de la subestación tipo patio en superficie. En estos casos, se ingresa la energía en el cable minero en media tensión hasta la subestación tipo interior, ya sea tipo convencional (transformador, seccionador, celdas, tableros, todos ubicados en un mismo reciento al interior de la mina) o de tipo *power center.*

A continuación se describen las clases de cable existentes acorde a su uso, y los conceptos del componente de hilo piloto y el código de colores planteado en el RETIE para sus componentes.

- *Cables de media tensión para alimentación de mina.* Se utilizan para el suministro principal de energía en media tensión (generalmente entre 4,16 y 13,2 kV) desde la superficie hacia las subestaciones o los centros de transformación subterráneos. Requieren aislamiento reforzado, blindaje metálico y protección mecánica adecuada para ambientes mineros (véase Figura 15).



Figura 15. Cable de media tensión para alimentación
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Cables de baja tensión para distribución en mina.* Se emplean para transportar energía desde los centros de transformación o tableros principales hacia los diferentes puntos de consumo de baja tensión. Deben ser resistentes a la humedad, la abrasión y con recubrimiento retardante de llama (véase Figura 16).



Figura 16. Cable de baja tensión para distribución
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Cables de baja tensión para potencia en mina.* Son conductores de mayor sección, destinados a alimentar directamente equipos eléctricos de alta demanda, como bombas, ventiladores o compresores. Están diseñados para soportar corrientes elevadas y condiciones mecánicas exigentes (véase Figura 17).



Figura 17. Cable de baja tensión para potencia
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Cables de baja tensión para control.* Son utilizados para transmitir señales de mando, supervisión o automatización de equipos eléctricos. Operan a baja tensión y están diseñados para resistir interferencias electromagnéticas y condiciones ambientales severas en mina (véase Figura 18).



Figura 18. Cable de baja tensión para control
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Monitoreo de hilo piloto.* Esta es una tecnología de seguridad eléctrica que supervisa un cable conductor adicional (“hilo piloto”) para detectar daños en el cable de tierra que se encuentra al interior del cable minero y, en caso de requerirse, desconectar el suministro de energía.

  Este monitoreo verifica la continuidad y la integridad del conductor de puesta a tierra, por lo que es una medida de seguridad crucial en la minería para proteger al personal.

  En síntesis, el hilo piloto es un cable que envía una señal cuando el cable de tierra está dañado. Esto es muy importante, porque si el cable de tierra se deteriora, la corriente no tendría por donde circular y afectaría a las personas que estén haciendo contacto con la estructura metálica del equipo en el momento de la falla o posteriormente.

- Código de colores. El RETIE establece, en su libro 3 - título 5, el “Código de colores para conductores de uso eléctrico”:

  > Con el objeto de evitar accidentes por errónea interpretación del nivel de tensión y tipo de sistema utilizado, se debe cumplir el código de colores para conductores aislados de potencia [...]. Se tomará como válido para determinar este requisito el color propio del acabado exterior del conductor o una marcación clara en las partes visibles, con pintura, con cinta o rótulos adhesivos del color respectivo. Este requisito igualmente aplica a conductores desnudos, que actúen como barrajes en instalaciones interiores y no para los conductores utilizados en instalaciones a la intemperie diferentes a la acometida. (Colombia, MME, 2024a, p. 21, Libro 3)

En la Tabla 4 se presenta el código de colores para conductores de corriente alterna.

Tabla 4. Código de colores para conductores de corriente alterna

Sistema de corriente alterna	1 Φ Monofásico	1Φ Monofásico	3ΦY Trifásico en estrella	3ΦΔ Trifásico en delta	3ΦΔ- Trifásico en delta con neutro derivado	3ΦY Trifásico en estrella	3ΦY Trifásico en estrella	3ΦΔ Trifásico en delta	3ΦΔ Trifásico en delta	3ΦY Trifásico en estrella
Tensión nominal (voltios)	120	480/ 240/ 120	208/ 120	240	240/ 208/ 120	380/ 220	480/ 277	480- 440	Más de 1000 V	Más de 1000 V
Conductor activo	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases	3 fases
Fase	Color fase o negro	Color fases o 1 negro	Amarillo Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo	Amarillo Violeta Rojo
Neutro	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Blanco o gris	No aplica	No aplica	No aplica
Tierra de protección	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	No aplica
Tierra aislada	Verde o verde/ amarillo	Verde o verde/ amarillo	Verde o verde/ amarillo	No aplica	Verde o verde/ amarillo	Verde o verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: adaptada de Colombia, MME (2024a, p. 21, Libro 3).

2.5.2.3. Bandeja portacables y canalizaciones

Una bandeja portacables es una estructura rígida, generalmente metálica, diseñada para organizar, soportar y canalizar grandes cantidades de cables eléctricos, de datos, telefonía o control, funcionando como un "puente" que conduce el cableado de forma segura y ordenada a lo largo de techos o paredes, para facilitar el mantenimiento y evitar accidentes (véase Figura 19).



Figura 19. Bandeja portacable
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

La bandeja permite la ventilación, evita el sobrecalentamiento y se fabrica en materiales como aluminio o acero inoxidable), existiendo diversos tipos (escalera, malla, piso), según el ambiente y la carga.

Por su parte, una canalización eléctrica es un sistema de tubos, bandejas o canaletas que sirve para proteger, organizar y guiar los cables y conductores eléctricos dentro de una instalación, resguardándolos de daños mecánicos, la humedad y otros agentes externos, y garantizando una distribución segura y eficiente de la energía en hogares, comercios e industrias (véase Figura 20).



Figura 20. Canalización eléctrica
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

De acuerdo con el artículo 3.17.6.1 del RETIE, "Las partes de canalizaciones que estén expuestas o a la vista, deben marcarse en franjas de color naranja de al menos 10 cm de anchas para distinguirlas de otros usos" (Colombia, MME, 2024a).

2.5.2.4. Circuito ramal

Un circuito ramal (o circuito derivado) es la parte de una instalación eléctrica que se extiende desde el tablero de distribución principal hasta las salidas finales (como tomacorrientes y puntos de alumbrado). Su función principal es permitir la conexión segura y eficiente de los dispositivos eléctricos.

Cada circuito ramal está protegido por un interruptor automático o fusible, cuya capacidad de corriente (amperaje) está calibrada específicamente para proteger los conductores contra sobrecargas y cortocircuitos.

Un principio técnico fundamental en el diseño y uso de estos circuitos es que la carga total conectada nunca debe exceder la capacidad de corriente nominal del circuito ni la sección (calibre) de los conductores

instalados. Esto se debe a que tanto los interruptores como los cables están dimensionados para un límite térmico preciso. Incrementar la carga por encima de ese límite, ya sea mediante la conexión de equipos de mayor potencia o la multiplicación excesiva de dispositivos, genera un calentamiento progresivo del cableado. Tal sobrecalentamiento puede degradar el aislamiento de los conductores, reducir drásticamente su vida útil y, en casos críticos, convertirse en un origen de incendios, incluso si el interruptor no actúa inmediatamente.

Por lo tanto, la protección no es solo una función del dispositivo en el tablero, sino también del correcto dimensionamiento y uso del circuito. La carga debe estar contextualizada y controlada para mantenerse dentro de los parámetros de diseño, garantizando así la seguridad de la instalación, la preservación del cableado y el funcionamiento confiable de todos los equipos conectados.

2.5.2.5. Subestación power center

Es una subestación diseñada para aplicaciones mineras. Es un equipo móvil y compacto, que puede trasladarse por túneles subterráneos (véase Figura 21). Proporciona suministro de potencia seguro y eficiente, además de protección óptima para equipos de minería. Su ventaja principal es que es pequeña y fácil de transportar, a diferencia de la subestación convencional.



Figura 21. Subestación *power center*
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Luego de la subestación *power center,* en el sistema eléctrico se distribuye la energía a los diferente tableros y equipos eléctricos al interior de la mina.

2.5.2.6. Tablero eléctrico

Un tablero eléctrico (véase Figura 22) en minería subterránea es un elemento robusto y especializado para proteger, controlar y distribuir la energía eléctrica para maquinaria y diferentes equipos. Es crucial para la seguridad y la eficiencia, pues se diseña para soportar condiciones extremas, como polvo, humedad y altas temperaturas, e incluye dispositivos de protección avanzados, como interruptores, relés, contactores, pulsadores, entre otros.



Figura 22. Tablero eléctrico
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

En una operación minera subterránea se pueden encontrar distinto tipos de tableros eléctricos, dependiendo del nivel de tensión y la función operativa que cumplen. Los más habituales son:

- *Tablero de potencia.* Es un elemento que distribuye la energía eléctrica a diferentes circuitos o equipos, como maquinaria pesada o sistemas de ventilación principales. Estos operan en baja o media tensión, generalmente entre 440 V-13,2 kV.
- *Tablero de comunicaciones y control.* Maneja señales y la lógica de operación, ordenando cuándo y cómo operan las cargas. Son usados para supervisar, automatizar o gobernar el funcionamiento de los equipos. Trabajan en baja tensión, comúnmente 110 V-440 V.
- *Tablero de equipo móvil.* Es un gabinete eléctrico que se instala directamente en la maquinaria minera y se encarga de distribuir y controlar la energía que alimenta los motores y sistemas auxiliares. Está diseñado para soportar vibración, impacto, humedad y polvo, e incorporan falla a tierra y protecciones contra exceso de corriente. Estos suelen trabajar principalmente en baja tensión, en rangos comúnmente entre 440 V- 690V, dependiendo del tipo de equipo y del sistema específico dentro de este.

2.5.2.7. Interruptores automáticos

Los interruptores automáticos (véase Figura 23) son dispositivos de seguridad eléctrica que protegen las instalaciones de sobrecargas y cortocircuitos al desconectar automáticamente el suministro de corriente cuando detectan un problema.



Figura 23. Interruptor automático
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Estos interruptores funcionan mediante dos mecanismos: uno térmico, para sobrecargas lentas (calentamiento), y uno magnético, para cortocircuitos (corrientes muy elevadas). Una vez que la falla se ha resuelto, se pueden restablecer para volver a poner en funcionamiento el circuito.

Se deben utilizar antes de la conexión de cualquier equipo eléctrico (motores, bombas, tableros secundarios, entre otros).

2.5.2.8. Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, utilizando los principios del electromagnetismo (véase Figura 24). Lo hace mediante la creación de un campo magnético que interactúa con una corriente eléctrica, generando una fuerza que produce movimiento rotatorio en un eje.

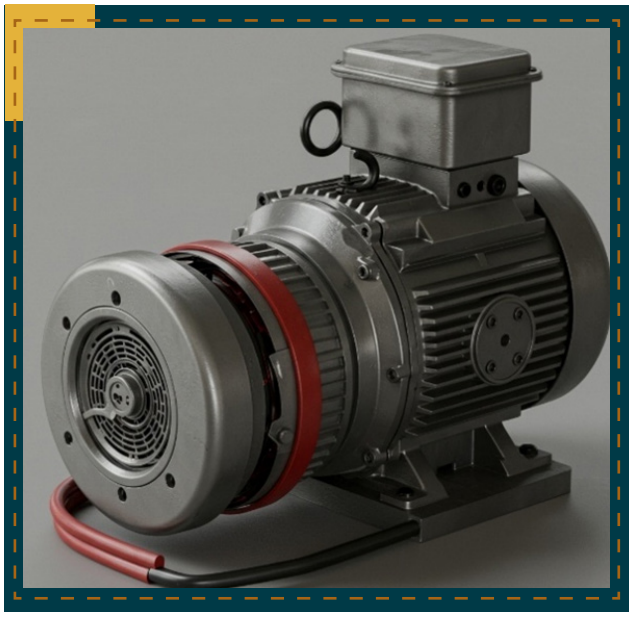


Figura 24. Motor eléctrico
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Los motores son esenciales en la industria minera, y según donde se encuentren ubicados, deben cumplir con parámetro técnicos, como es el caso de las áreas clasificadas.

2.5.2.9. Contactores

Un contactor (véase Figura 25) es un interruptor electromagnético de alta potencia, diseñado para abrir y cerrar circuitos eléctricos de forma remota, y controlar cargas elevadas, como motores, iluminación y sistemas de calefacción en aplicaciones industriales y comerciales. Se acciona mediante una bobina electromagnética que atrae o repele contactos metálicos al energizarse, permitiendo o interrumpiendo el flujo de corriente.



Figura 25. Contactor
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.5.2.10. Relé térmico

Un relé térmico (véase Figura 26) es un dispositivo de protección para instalaciones eléctricas, especialmente motores, que protege contra sobrecargas y calentamientos excesivos. Funciona mediante una placa bimetálica, que se dilata al calentarse por el exceso de corriente, y activa un mecanismo que desconecta el circuito hasta que el sistema se enfría. Esto evita daños, alarga la vida útil del equipo y reduce el riesgo de incendios, permitiendo un rearme manual o automático.

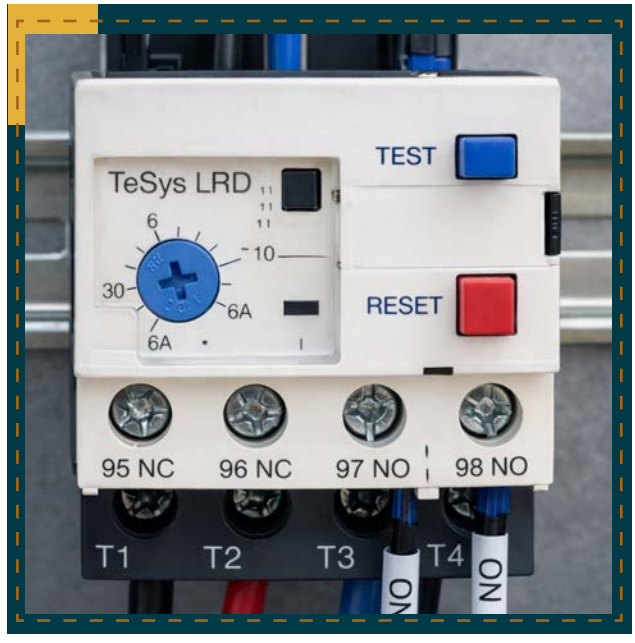


Figura 26. Relé térmico
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.5.2.11. Pulsadores de emergencia

Los pulsadores de emergencia son dispositivos de seguridad diseñados para detener inmediatamente maquinaria o procesos peligrosos ante una situación de riesgo, lo que permite proteger a personas y equipos al cortar la energía de forma rápida y segura. Para activarse, requiere una acción manual y un procedimiento específico para reiniciarse, a diferencia de un botón de "STOP" normal (véase Figura 27).



Figura 27. Pulsador de emergencia
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.5.2.12. Dispositivo de protección contra sobretensiones

En electricidad, un dispositivo de protección contra sobretensiones (Surge Protection Device) es un aparato crucial para proteger equipos de picos de voltaje causados por rayos, conmutaciones en la red o fallos, desviando el exceso de energía a tierra para evitar daños irreversibles, y funciona como un escudo que detecta el voltaje anormal y actúa en microsegundos.

Existen tres tipos de dispositivos: tipo 1, 2 y 3, que se instalan en diferentes puntos (desde la acometida hasta el equipo final) para una protección escalonada, siendo esenciales para la seguridad de hogares y del sector industrial (véase Figura 28).

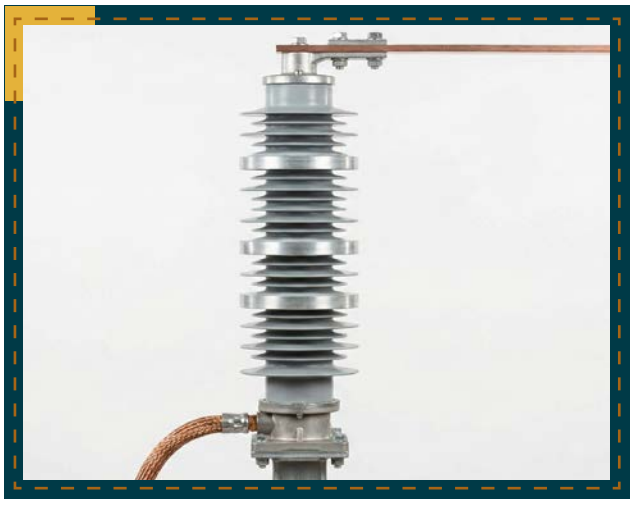


Figura 28. Dispositivo de protección contra sobretensiones
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.5.2.13. Variador de velocidad

Un variador de velocidad (véase Figura 29) es un dispositivo electrónico que controla la velocidad y el torque de un motor eléctrico, ajustando la frecuencia y el voltaje de la energía que recibe.

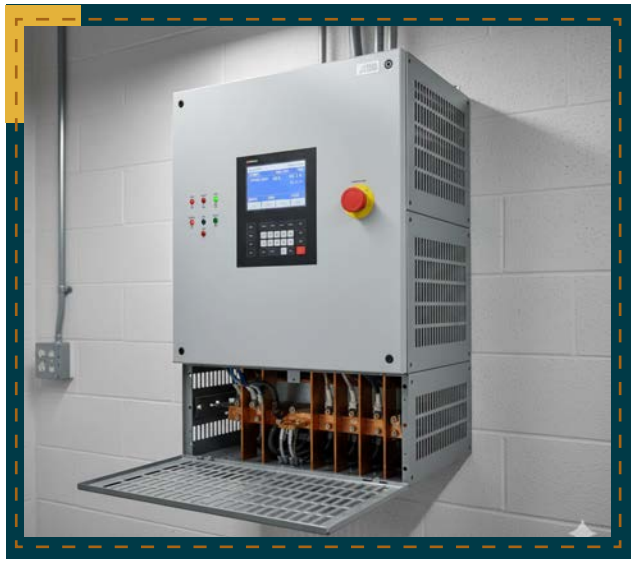


Figura 29. Variador de velocidad
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

El variador de velocidad es importante, porque permite controlar la velocidad de los motores eléctricos según la necesidad del proceso, lo que genera ahorro energético significativo. También prolonga la vida útil del motor, gracias a arranques y paradas suaves, reduce el desgaste mecánico y disminuye los costos de mantenimiento. Además, facilita un mejor control del proceso y la operación.

2.5.2.14. Bombas

En la minería subterránea, las bombas son máquinas esenciales que utilizan energía mecánica para mover fluidos, principalmente para bombear agua de mina, lodos abrasivos y relaves. Son cruciales para mantener las operaciones seguras y eficientes, ya que son responsables de drenar el agua acumulada en los túneles o transportar materiales densos y viscosos desde el interior de las labores mineras hasta afuera de la bocamina.

Existen varios tipos, como las bombas sumergibles (véase Figura 30), de doble diafragma y de cavidad progresiva, diseñadas para soportar condiciones extremas y garantizar la continuidad operativa.



Figura 30. Bomba sumergible
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

De acuerdo con la información del fabricante, las bombas pueden ser trifásicas o monofásicas, y según esto, se realiza su respectiva conexión.

2.5.2.15. Ventiladores

Los ventiladores en minería subterránea son dispositivos mecánicos cruciales para el sistema de ventilación, que mueven aire fresco para hacer respirable la mina y expulsan el aire viciado y contaminado. Su función es vital para la seguridad y la salud de los trabajadores, creando una atmósfera con suficiente oxígeno, temperatura, humedad y sin gases peligrosos (véase Figura 31).



Figura 31. Ventilador minero
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.5.2.16. Resistencia de puesta a tierra neutra

Una resistencia de puesta a tierra neutra *(Neutral Grounding Resistor, NGR)* es un dispositivo eléctrico que se instala entre el punto neutro de un transformador o generador, y el suelo o tierra, con el fin de limitar la corriente de falla a tierra a un nivel seguro. Esto protege el equipo y al personal de daños causados por arcos eléctricos, sobretensiones y quemaduras, al tiempo que permite que el sistema detecte y localice la falla para su posterior aislamiento.

La NGR restringe la magnitud de la corriente que fluye durante una falla a tierra, impidiendo que alcance niveles peligrosos. La corriente de falla controlada puede ser detectada por relés de protección, lo que permite aislar la sección defectuosa del sistema. En sistemas avanzados, puede incluso ayudar a ubicar la falla.

Una falla a tierra es una conexión eléctrica no intencionada que se produce cuando un cable con energía entra en contacto con tierra por aislamiento dañado, una carcasa metálica en mal estado o un cable mal conectado. Este tipo de falla puede provocar una descarga eléctrica peligrosa o un incendio (véase Figura 32).



Figura 32. Falla a tierra
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

En casos normales, la falla a tierra se despeja por medio del cable de tierra que se encuentra al interior del cable minero, haciendo que se disparen las protecciones.

Dentro de las causas comunes de falla a tierra encontramos:

- El aislamiento de los cables se puede dañar por desgaste, golpes o productos químicos, permitiendo que el conductor energizado toque una superficie conductora, como una tubería metálica o la estructura externa de un equipo.
- Una conexión a tierra inadecuada o defectuosa, o la falta de una conexión correcta entre el neutro y la tierra, puede permitir que la corriente de falla no se despeje de manera segura.
- La humedad y el agua al interior de la mina aumenta significativamente el riesgo de fallas a tierra.
- Las herramientas mecanizadas y otros equipos, como los utilizados en el sector minero, pueden fallar internamente, provocando una falla a tierra.

2.5.2.17. Red monofásica

Una red monofásica es un tipo de suministro eléctrico de corriente alterna que utiliza un solo conductor de fase y un conductor neutro para alimentar los equipos eléctricos. Es el sistema más común en hogares y pequeños negocios, adecuado para electrodomésticos, iluminación y aparatos electrónicos de uso general.

2.5.2.18. Red trifásica

Una red trifásica es un sistema eléctrico que distribuye tres corrientes alternas simultáneamente, desfasadas entre sí 120 grados. Este sistema es el estándar para la distribución de energía eléctrica a nivel mundial, especialmente en entornos industriales y comerciales, ya que ofrece mayor estabilidad y eficiencia, y es ideal para alimentar maquinaria pesada que requiere más potencia que la que puede suministrar un sistema monofásico.

2.5.3. Áreas clasificadas

De acuerdo con el RETIE, en su artículo 3.28.6.1, "a) En toda instalación eléctrica en minas se debe realizar la clasificación de áreas de acuerdo con las condiciones establecidas en el Artículo 3.28.3.1 [...]" (Colombia, MME, 2024a).

A su vez, el Decreto 1886 de 2015 establece, en su artículo 182:

> En las labores mineras subterráneas clasificadas como grisutuosas (Categorías II y III del artículo 58 de este Reglamento), se deben utilizar instalaciones eléctricas de seguridad a prueba de explosión contra grisú, certificadas según el RETIE para uso simultáneos en Clase I, División 1, Grupo D y Clase II, División 1 Grupo f. [...]. (Colombia, Presidencia de la República, 2015b)

Por consiguiente, en el entorno de las instalaciones eléctricas en minas, se debe evitar que estén presentes materiales inflamables y combustibles, como gas, vapor, niebla o polvo, y aire (oxigeno), en condiciones y cantidades apropiadas para producir una mezcla explosiva. Si no se puede garantizar esta condición, se deben tomar acciones especiales para controlar la energía de las fuentes de ignición.

En este sentido, en las áreas clasificadas como peligrosas o de alto riesgo se pueden generar atmósferas potencialmente inflamables o explosivas, debido a las condiciones locales y operacionales que permiten que continúe un proceso de combustión después que tuvo lugar la ignición.

La National Fire Protection Association (NFPA) plantea, en el artículo 500 del National Electrical Code (NFPA, 2023), que las áreas clasificadas pueden dividirse en clases, las cuales están asociadas al tipo o forma de sustancias existentes en el ambiente:

- *Clase I:* gases, vapores y líquidos inflamables.
- *Clase II:* polvos combustibles.
- *Clase III:* fibras y partículas combustibles.

La división en un área clasificada es una característica que hace referencia a la frecuencia con que en un sitio pueden estar presentes, en el aire, gases, vapores inflamables, polvos o fibras combustibles, en cantidad suficiente para producir mezclas inflamables. De este modo, un área clasificada podrá ser de:

- *División 1:* condiciones normales de operación o de mantenimiento.
- *División 2:* operación anormal, o lugar adyacente a división 1.

Los grupos se refieren a clasificaciones más precisas, por el poder inflamable o explosivo, y por los límites de explosividad de los materiales:

- *Para clase I:* se divide en cuatro grupos con sustancias representativas: A (acetileno), B (hidrógeno, óxido de etileno), C (etileno, ciclopropano), D (gasolina, propano, metano, alcoholes).
- *Para clase II,* solo en división 1, se clasifica en tres grupos: E (metales), F (carbón) y G (granos orgánicos).
- *Para la clase III,* no hay clasificación por grupos.

La clasificación de áreas expuestas, que usa las categorías de clases, divisiones y grupos, puede complementarse con las recomendaciones de la NFPA para clasificar gases inflamables y polvos combustibles (NFPA, 2024c, 2024d).

A su vez, la International Electrotechnical Commission (IEC) propone una metodología alternativa para la clasificación de áreas que usa la categoría de “zonas”.

La clasificación de áreas por presencia de gases inflamables se basa en la IEC 60079-10-1 (IEC, 2020a):

- *Zona 0:* existe una atmósfera explosiva presente de manera continua o por periodos largos.
- *Zona 1:* la existencia de una atmósfera explosiva es altamente probable bajo las condiciones normales de la operación.
- *Zona 2:* la aparición de una atmósfera explosiva es poco probable y de corta duración en caso de presentarse.

Mientras que para el caso de las áreas clasificadas por presencia de polvos combustibles se utiliza la IEC 60079-10-2 (IEC, 2015):

- *Zona 20:* la concentración de polvo combustible configura una atmósfera explosiva de manera continua.
- *Zona 21:* la configuración de una atmósfera explosiva, por la presencia de polvo combustible, es altamente probable bajo las condiciones normales de operación.
- *Zona 22:* puede darse la presencia ocasional de polvo combustible en una concentración suficiente para configurar una atmósfera explosiva.

La metodología de la IEC incorpora además una clasificación complementaria por grupos, en el que el Grupo I hace referencia a equipos eléctricos usados en áreas donde existe riesgo de atmósferas explosivas por presencia de metano o polvo de carbón.

De este modo, si comparamos la anterior metodología con la NFPA, en el ámbito minero hablaríamos de sustancias clase I como el gas metano, o clase II, como el polvo de carbón, que, en ciertos niveles de concentración, dentro del confinamiento de un túnel minero, configuran atmósferas explosivas.

En este orden de ideas, dentro de una explotación minera subterránea (especialmente en la minería de carbón subterránea) es posible identificar al menos los siguientes tipos de áreas clasificadas:

- *Minas grisutuosas:* el grisú es una mezcla de gas metano con aire, que suele presentarse, por ejemplo, en las operaciones mineras subterráneas de carbón, en las que el confinamiento permite la acumulación y el aumento de su concentración hasta niveles que superan su límite inferior de explosividad. El Decreto 1886 de 2015 clasifica las minas subterráneas de carbón en tres categorías, acorde con la concentración de gas metano que se alcanza en las labores mineras (Colombia, Presidencia de la República, 2015b). Esto se resume en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de las minas subterráneas de carbón

Categoría		Descripción
	I. Minas o frentes de trabajo no grisutuosos	Son aquellas labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina no alcanza el 0 %
	II. Minas o frentes débilmente grisutuosos	Son aquellas labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina es igual o inferior que 0,3 %
	III. Minas o frentes fuertemente grisutuosos	Son aquellas labores o excavaciones subterráneas para las cuales la concentración de metano en cualquier sitio de la mina es superior que 0,3 %

Fuente: adaptada de Colombia, MME (2015).

- *Minas pulverulentas:* de manera similar a la descrita en el inciso anterior, existe una consideración sobre el polvo de carbón, contemplada por el Decreto 1886 de 2015, en su

  > ARTÍCULO 66. Clasificación de minas por contenido de polvo de carbón. Una labor subterránea considerada dentro de la Categoría I del artículo 58 de este Reglamento, con respecto al metano, se clasifica como pulverulenta inflamable (polvo de carbón volátil muy fino), cuando el contenido de materias volátiles en el carbón que se explota, sea superior al dieciséis por ciento (16 %), y una labor subterránea considerada dentro de las Categorías II y III respecto al metano (artículo 58), se clasifica como pulverulenta inflamable cuando el contenido de materias volátiles dentro del manto de carbón que se explota sea superior al catorce por ciento (14 %). (Colombia, Presidencia de la República, 2015b)

  Este mismo artículo plantea, en su parágrafo 1, que

  > Para prevenir una explosión de polvo de carbón es necesario evitar que se presenten las siguientes condiciones de manera simultánea:
  > 1. Presencia de polvo de carbón;
  > 2. Un tamaño de partículas que permita la propagación de la llama menor a [...] (0,5 mm);
  > 3. Una atmósfera con oxígeno suficiente para mantener la combustión;
  > 4. Una nube de polvo con una concentración dentro del rango de explosividad;
  > 5. Una fuente con energía suficiente para la ignición; y,
  > 6. Que se supere el Límite Inferior de Explosividad [...]. (Colombia, Presidencia de la República, 2015b)

- *Polvorines:* son los espacios diseñados y destinados para el almacenamiento de explosivos usados en la explotación minera; por ende, no solo se deben cumplir las especificaciones de diseño de la obra civil, materiales de construcción y localización de la infraestructura, sino que además requieren un manejo especial de las instalaciones eléctricas.

Las instalaciones que cuenten con áreas clasificadas deben tener disponibles y vigentes los planos de clasificación de áreas de la instalación, los cuales hacen parte del estudio de clasificación de áreas, y deben ser elaborados y firmados por un ingeniero experto en áreas clasificadas.

Los planos de clasificación deben mostrar, entre otros aspectos, las distancias o cotas de los sitios clasificados, incluyendo las alturas. Estos son documentos de seguridad muy importantes, en los cuales debe basarse el diseñador de las instalaciones eléctricas de dichas áreas. Estos planos deben estar disponibles con las memorias de cálculo del estudio realizado para clasificar estos riesgos de explosión.

Los equipos eléctricos instalados en áreas peligrosas deben estar certificados para los parámetros de la clasificación del área correspondiente, deben estar rotulados y cumplir con los requisitos de una norma internacional, de reconocimiento internacional o la Norma Técnica Colombiana (NTC) aplicada al producto para uso en esas condiciones.

El equipo eléctrico debe seleccionarse de tal modo que se asegure que la temperatura máxima superficial, la que puede alcanzar un equipo en condiciones normarles de operación, no exceda la temperatura de ignición de la sustancia inflamable o combustible existente en el sitio donde está instalado.

Es importante tener en cuenta que si el área es clasificada, estos equipos deben ser especiales, para evitar posibles incendios o explosiones.

2.5.3.1. Equipos a prueba de explosión

Los equipos a prueba de explosión son equipos especializados, diseñados para operar de forma segura en atmósferas que contienen gases, vapores o polvos combustibles. Su función principal es evitar que se generen chispas, arcos eléctricos o calor que puedan encender y causar una explosión en el ambiente circundante (véase Figura 33). Para lograr esto, utilizan carcasas o recintos resistentes, y tecnologías como la protección contra la ignición o la presurización. Contienen la explosión y permiten que los gases se enfríen y escapen de la envolvente (carcasa externa del equipo), a través de las juntas roscadas, juntas planas o juntas dentadas.



Figura 33. Tablero a prueba de explosión
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Sus características principales son:

- *Carcasa robusta:* está construida con recintos que pueden soportar una explosión interna, sin que la llama o la presión escapen y enciendan la atmósfera exterior.
- *Sello cortafuego:* un sello a prueba de explosión es un componente de seguridad que restringe el paso de gases, vapores o llamas a través de conductos eléctricos en áreas peligrosas. Se instala llenando una cavidad en el conducto, con un compuesto sellador especial que, al endurecer, evita que una explosión interna se propague de un componente a otro, protegiendo así toda la instalación (véase Figura 34).



Figura 34. Sello cortafuego
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Prevención contra la ignición:* evitan la formación de fuentes de ignición, como chispas, arcos eléctricos o calor excesivo.
- *Normativa y certificación:* deben cumplir con normativas específicas, como la ATEX (ATmosphères EXplosibles) en Europa o el IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmospheres (IECEx) a nivel internacional, para garantizar su seguridad en zonas peligrosas.

  En el marco de ATEX (atmósferas explosivas), que es ampliamente usado en minería, el marcado Ex indica que el equipo está diseñado para uso en atmósferas potencialmente explosivas. Las letras que siguen identifican el modo de protección:

  — Ex d - Envolvente antideflagrante (flameproof): el equipo puede generar una explosión interna, pero su envolvente es capaz de contenerla y evitar que se propague al exterior.
  — Ex e - Seguridad aumentada: el equipo no produce arcos, chispas ni altas temperaturas en condiciones normales y se diseñan medidas adicionales para evitar fallas que puedan generar ignición.
  — Ex i - Seguridad intrínseca: limita la energía eléctrica (corriente y tensión) a niveles tan bajos que no pueden provocar ignición, incluso en caso de falla. Muy común en instrumentación y control.
  — Ex n - Protección tipo “n”: diseñado para que en operación normal no genere ignición. Aplicable principalmente en zona 2 (atmósfera explosiva poco probable y de corta duración).



2.5.4. Grados de protección para equipos eléctricos

Los equipos que se utilizan en las minas subterráneas deben incluir los tableros que tengan los grados de protección apropiados tanto a la penetración de cuerpos sólidos, gases o agua, como al impacto, y seguir los requerimientos que se enuncian a continuación.

2.5.4.1. Grado de protección IP

El grado de protección IP (índice de protección) se refiere al nivel de estanqueidad frente a la penetración de polvo y de agua al interior de cualquier envolvente (IEC, 2013).

La identificación del nivel de protección se hace por medio de las letras IP, seguidas de dos cifras: la primera indica el nivel relativo de estanqueidad al polvo, y la segunda, al agua (véase Figura 35).



Figura 35. Clasificación IP acorde con la International Electrotechnical Commission
Fuente: traducida y adaptada de IEC (2020b).

El artículo 3.28.6.4.1. del RETIE (Colombia, MME, 2024a) determina que

> En minas subterráneas deben utilizarse mínimo los siguientes grados IP [...]
> a.IP 20: También llamada protección de dedos, está destinado principalmente a partes de aparatos contenidos en otras envolventes, por ejemplo, seccionadores o transformadores de auxiliares situados en el mismo compartimento que el resto de los aparatos.
> b.IP 23: Exigido para envolventes de equipos sin modo de protección destinados a estar instalados en el interior de locales o habitáculos cerrados (sin acceso libre al personal).
> c.IP 54: Exigible a envolventes de equipos sin modo de protección cuando están instalados con acceso directo al personal de explotación (locales o lugares abiertos). También para equipos con modo de protección con envolvente antideflagrante.
> d.IP 55: Exigible a envolventes de equipos de Seguridad Intrínseca y de Seguridad Aumentada, o ambos como modo de protección.

Es muy importante este grado de protección, para evitar el ingreso de polvos o agua al interior del tablero o equipo, que pueda afectar su funcionamiento y exponer al personal de la mina.

2.5.4.2. Grado de protección IK

Adicional al IP se debe considerar el grado de protección de robustez mecánica IK (índice cinético o kinetic index). Se refiere al grado de protección de la envolvente (carcasa externa) o parte de ella contra impactos.

Se debe usar en cualquier tipo de equipo de instalación subterránea, tanto de áreas clasificada como áreas no clasificadas (véase Figura 36).

Grado de Protección IK – IEC EN 62262

El grado IK indica la resistencia al impacto de envolventes eléctricas contra impacto mecánico, expresada en julios (J).
Mide el grado de protección proporcionado por envolventes para equipos eléctricos frente a impactos mecánicos externos.

Código IK	Energía de impacto (J)	Prueba de impacto (Masa / Altura)
IK00	0 J	No hay protección
IK01	0.14 J	0.25 kg / 56 mm
IK02	0.2 J	0.25 kg / 80 mm
IK03	0.35 J	0.25 kg / 140 mm
IK04	0.5 J	0.25 kg / 200 mm
IK05	0.7 J	0.25 kg / 280 mm
IK06	1 J	0.25 kg / 400 mm
IK07	2 J	0.5 kg / 400 mm
IK08	5 J	1.7 kg / 300 mm
IK09	10 J	5 kg / 200 mm
IK10	20 J	5 kg / 400 mm

Figura 36. Protección Ik acorde con la International Electrotechnical Commission
Fuente: generado con la IA Gemini (Google, 2025) con base en (IEC, 2002).

Para instalaciones mineras el artículo 3.28.6.4.1. del RETIE (Colombia, MME, 2024a) establece que:

> Los equipos eléctricos de interior deben presentar alta resistencia mecánica, a fin de ser capaces de asegurar el suministro eléctrico con la seguridad exigible para ambientes subterráneos no clasificados o con riesgo de explosión. Los grados IK mínimos requeridos son:
>
> - IK09: para equipos eléctricos destinados a frentes de arranque, preparación y, en general, cualquier labor de interior que implique proximidad a maquinaria pesada.
> - IK07: para otros equipos eléctricos, alumbrado general, señalización, control, gasometría, entre otros.

2.6. Equipos de medición

Son herramientas fundamentales para el control, el diagnóstico y la verificación del correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas, debido a que se utilizan para evaluar parámetros críticos, como tensión, corriente, resistencia, potencia o aislamiento, buscando asegurar la confiabilidad del sistema y la detección temprana de fallas. Su aplicación adecuada contribuye indirectamente a la prevención de incidentes eléctricos, al mantenimiento predictivo y al cumplimiento de los estándares técnicos y de seguridad exigidos en entornos de alta complejidad operativa como el sector minero.

Dentro de los equipos de medición de uso más frecuente se destacan el detector de tensión, el detector de tensión portátil, la pinza amperimétrica, el multímetro, la cámara termográfica, el megóhmetro y el telurómetro, cada uno de los cuales se describe a continuación.

2.6.1. Detector de tensión

Este dispositivo (véase Figura 37) es utilizado para verificar la ausencia de tensión. Puede ser de uso común o individual (es común utilizarlo dentro del casco de operario).



Figura 37. Detector de tensión
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

El equipo permite emitir señales sonoras, señales visuales o de ambos tipos. Se debe revisar periódicamente el estado de las pilas.

Para medir la tensión, el detector debe ser utilizado por medio de una pértiga, con el fin de evitar el acercamiento del personal a la parte energizada, lo que podría ocasionar un arco eléctrico (véase Figura 38).



Figura 38. Detector de tensión con pértiga
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

El detector opera en un amplio rango de detección, con tensiones desde 80 V hasta 275 kV.

Si al interior de la mina se realiza apertura y cierre de sistemas eléctricos en media tensión, se debe contar con este equipo para ejecutar procedimientos de trabajos sin tensión.

2.6.2. Detector de tensión portátil

En algunos casos también se utilizan detectores de tensión portátil, los cuales usualmente son ubicados al interior del casco (véase Figura 39). Estos actúan de manera automática, al actuar como sensor de niveles de tensión cerca de los límites de proximidad. Tiene un rango de operación de 110 V a 22 800 V.



Figura 39. Detector de tensión portátil
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.6.3. Pinza amperimétrica

Una pinza amperimétrica es un instrumento de medición eléctrica portátil, que combina un multímetro digital con un transformador de corriente. Su diseño incorpora pinzas que rodean un conductor para medir la corriente, sin necesidad de desconectarlo (véase Figura 40).



Figura 40. Pinza amperimétrica
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

En corriente alterna, las pinzas detectan el campo magnético inducido por la corriente y lo convierten en una señal proporcional. Esta tecnología permite mediciones seguras, rápidas y sin contacto directo.

2.6.4. Multímetro

Un multímetro es un instrumento de medición que permite determinar diversas magnitudes eléctricas, como tensión (voltaje), corriente (amperaje) y resistencia. Los modelos digitales modernos también pueden medir frecuencia, continuidad, capacidad, temperatura y otros parámetros eléctricos.

Su funcionamiento se basa en circuitos internos que convierten las señales eléctricas en valores numéricos, mostrados en una pantalla digital (véase Figura 41). Mediante la selección del modo de medición y del rango adecuado, el multímetro puede utilizarse tanto en corriente continua como en corriente alterna, garantizando precisión y seguridad en diagnósticos eléctricos y electrónicos.



Figura 41. Multímetro
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

2.6.5. Cámara termográfica

Una cámara termográfica es un instrumento de medición que detecta la radiación infrarroja emitida por los cuerpos y la convierte en una imagen visible denominada “termograma”. Cada punto de la imagen representa una temperatura superficial, permitiendo identificar variaciones térmicas imperceptibles al ojo humano (véase Figura 42).



Figura 42. Cámara termográfica
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Su funcionamiento se basa en un sensor microbolométrico o detector de infrarrojos, que mide la energía radiante dentro de un rango espectral específico (normalmente entre 8 y 14 µm). Estas mediciones se procesan digitalmente para representar las diferencias de temperatura mediante una escala de colores falsa, lo que facilita la detección de pérdidas de calor, fallos eléctricos o mecánicos, y problemas de aislamiento.

En mantenimientos preventivos es común utilizar este equipo para determinar puntos calientes y proceder con su respectiva reparación.

2.6.6. Megóhmetro

Es un instrumento portátil utilizado para medir la resistencia del aislamiento de cables, bobinados y otros equipos eléctricos, como motores y generadores (véase Figura 43). Su función principal es garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, aplicando tensión para medir qué valor de corriente se filtra a través del aislamiento, lo que puede indicar fallas por humedad, recalentamiento, deterioro u otros motivos.



Figura 43. Megóhmetro
Fuente: generado con la IA Gemini (Google, 2025).

Cuando el aislamiento de un conductor se deteriora, la parte interna queda expuesta (cobre o aluminio), y al hacer contacto con otro cable o con tierra, se puede generar un cortocircuito.

2.6.7. Telurómetro

Un telurómetro es un instrumento de medición eléctrico que se usa para determinar la resistencia de la puesta a tierra de una instalación (véase Figura 44). Su función principal es garantizar la seguridad de los sistemas eléctricos, al verificar que la resistencia sea lo suficientemente baja para disipar de forma segura cualquier corriente de fuga o descarga eléctrica hacia el suelo.



Figura 44. Telurómetro
Fuente: generado con la IA Gemini (Google, 2025).



3. Modelo para la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea

La gestión del riesgo eléctrico se realiza como parte del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), constituyendo un enfoque sistemático orientado a identificar los peligros, y evaluar y controlar los riesgos asociados al uso, mantenimiento e intervención de instalaciones y equipos eléctricos.

Integrada a la estructura del SG-SST, esta gestión articula aspectos técnicos, administrativos y organizacionales para prevenir lesiones graves, daños a los activos y afectaciones a la continuidad operacional, a través de la aplicación de la jerarquía de controles y la planificación bajo el ciclo PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar), apuntando a la mejora continua (véase apartado 8.2.).

La gestión del riesgo eléctrico trasciende el cumplimiento normativo y se convierte en un componente estratégico para garantizar entornos de trabajo seguros y resilientes, especialmente en operaciones de alta complejidad como la minería subterránea.

3.1 Programa de Riesgo Eléctrico

Dentro del SG-SST, la gestión del riesgo eléctrico se verá reflejada formalmente en la implementación de un "programa de riesgo eléctrico", es decir, el conjunto estructurado de procedimientos, responsabilidades y recursos orientados a prevenir incidentes y accidentes derivados de la energía eléctrica en todas sus formas.

Este programa no se limita a un documento técnico, sino que constituye un subsistema especializado del SG-SST, que articula la gestión técnica de instalaciones y equipos con la gestión organizacional del riesgo. El programa funcionará integrado a otros elementos del SG-SST que dependerán de la realidad operacional de la organización, destacando algunos estándares mínimos definidos en la Resolución 0312 (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019a, pp. 14-23) para las empresas en nivel de riesgo 5 (aplicable a toda empresa minera), como son:

- El Plan Anual de Trabajo.
- La metodología para la identificación de peligros, y la evaluación y la valoración de riesgos.
- El mantenimiento periódico de instalaciones, equipos, máquinas y herramientas.
- Los procedimientos e instructivos internos de seguridad y salud en el trabajo.
- La identificación y evaluación para adquisición de bienes y servicios.
- Las inspecciones a instalaciones, maquinaria o equipos.
- El mantenimiento periódico de las instalaciones, equipos, máquinas y herramientas.
- El Programa de Capacitación Anual.
- El Plan de Prevención, Preparación y Respuesta ante Emergencias.

El Programa de Riesgo Eléctrico parte de la identificación sistemática de peligros eléctricos en cada proceso y nivel operativo, continúa con la valoración del riesgo considerando su probabilidad y severidad, y define controles bajo la jerarquía de eliminación, sustitución, ingeniería, administrativos y EPP.

Su eficacia se evalúa mediante indicadores de desempeño, auditorías internas y revisión por la dirección, asegurando coherencia con el ciclo PHVA.

En el contexto minero subterráneo, donde la energía eléctrica es esencial para ventilación, bombeo, operación de equipos para producción, el programa adquiere un carácter crítico. Por ello, debería integrar análisis de fallas, investigación de incidentes con enfoque sistémico, actualización tecnológica de protecciones y fortalecimiento continuo de la cultura de la seguridad eléctrica.

De esta manera, el programa no solo busca el cumplimiento normativo, sino la reducción sostenida del riesgo y la protección efectiva de las personas, los activos y la continuidad operacional.

3.2. Identificación de peligros eléctricos

La *Guía Técnica Colombiana GTC 45 - Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional,* publicada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec, 2012), propone la metodología estándar en Colombia para identificar y evaluar riesgos en el marco del Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). El método de la GTC 45 utiliza una herramienta denominada comúnmente “Matriz de riesgos”.

Las siguientes secciones del capítulo se basan en la lógica propuesta por la GTC 45 para identificar peligros, valorar el riesgo y definir e implementar controles.

3.2.1. El concepto de peligro

Se entiende por *peligro* toda fuente, situación o acto con potencial de causar daño a la salud de los trabajadores, a los equipos, a las instalaciones o al ambiente de trabajo. En términos prácticos, un peligro se relaciona con condiciones o actividades que, si no son controladas, pueden originar accidentes de trabajo, enfermedades laborales o pérdidas materiales (Icontec, 2012).

La identificación temprana de peligros, junto con su eliminación o control, constituye la base de una gestión preventiva eficaz en minería subterránea.

De acuerdo con la GTC 45 (Icontec, 2012), los peligros pueden clasificarse en las siguientes categorías:



- **Biológicos**



- **Psicosociales**



- **Físicos**



- **Biomecánicos**



- **Químicos**



- **Condiciones de seguridad,** que incluyen a los peligros eléctricos.

La exposición a estos peligros puede generar patologías traumáticas (accidentes de trabajo con consecuencias leves, severas o incluso mortales) o no traumáticas (enfermedades laborales).

Los conceptos de accidente de trabajo y enfermedad laboral se definen en la Ley 1562 del 2012, respectivamente en sus artículos 3 y 4, como:

> Artículo 3. Accidente de trabajo: [...] todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, una invalidez o la muerte [...]
> Artículo 4. Enfermedad laboral: la contraída como resultado de la exposición a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral o del medio en el que el trabajador se ha visto obligado a trabajar [...]. (Colombia, Congreso de la República, 2012)

3.2.2. Peligros eléctricos

En minería subterránea, el peligro eléctrico se define como la condición, situación o acto que puede producir lesiones a las personas, daños a los equipos, las herramientas y las instalaciones, o interrupciones operativas, debido a la presencia, uso o falla de la energía eléctrica.

Dentro de los peligros eléctricos más relevantes en el entorno minero encontramos el contacto directo, el contacto indirecto, el arco eléctrico, las descargas atmosféricas y sobretensiones, y los peligros eléctricos relacionados con atmósferas explosivas.

3.2.2.1. Contacto directo

Ocurre cuando una persona entra en contacto físico con partes activas que conducen energía: conductores energizados, barrajes, terminales o equipos sin aislamiento. Trae como potenciales consecuencias: electrocución, fibrilación ventricular o quemaduras.

Es importante tener en cuenta que la humedad, el uso de herramientas metálicas o la ausencia de los elementos de protección personal (EPP) dieléctrico incrementan el riesgo de contacto directo.

Un ejemplo de contacto directo es cuando un trabajador reubica una extensión eléctrica de un equipo energizado y al tomarla con la mano hace contacto con una parte energizada, porque el aislamiento se encuentra en un estado inadecuado.



Figura 45. Contacto directo
Fuente: generada con ChatGPT - Open AI (2025).

3.2.2.2. Contacto indirecto

Se presenta cuando el trabajador hace contacto con partes que normalmente no deberían estar energizadas, como carcasas metálicas, estructuras o tuberías que se energizan accidentalmente por fallas internas de los equipos o por deterioro de aislamiento de los conductores.

En ambientes húmedos o con presencia de agua subterránea, este riesgo aumenta considerablemente, porque se disminuye la resistencia del cuerpo al aumentar la circulación de corriente.

Los sistemas de puesta a tierra, el uso de dispositivos diferenciales y el mantenimiento adecuado de los equipos son esenciales para prevenir este tipo de peligro.

3.2.2.3. Arco eléctrico

Es una corriente que viaja por medio del aire y es capaz de producir temperaturas superiores a 20 000 °C. Este puede generar en el trabajador traumatismos, como quemaduras graves, ceguera temporal o lesiones auditivas, o desatar emergencias por incendio en galería o explosiones cuando hay presencia de polvo de carbón suspendido o una ventilación deficiente.

Los arcos eléctricos se pueden dar por violar distancias de seguridad (las separaciones mínimas que deben mantenerse respecto a partes energizadas y que se definen a través de estudios de arco eléctrico) o por contacto de herramientas no dieléctricas en barrajes energizados al realizar intervenciones eléctricas.

Cuando una persona infringe una distancia de seguridad (establecidas conforme a los resultados de los estudios de arco eléctrico y la normatividad vigente) respecto a partes energizadas —su cuerpo, una herramienta o un elemento conductor—, reduce la rigidez dieléctrica del aire que normalmente actúa como aislante. Al disminuir esa distancia crítica, el campo eléctrico supera la capacidad aislante del aire, se ioniza y se crea un camino conductor, produciéndose el arco eléctrico, que libera de forma súbita altísima energía térmica, luminosa y de presión, aun sin contacto directo con el conductor.



Figura 46. Contacto indirecto
Fuente: generada con ChatGPT - Open AI (2025).



Figura 47. Arco eléctrico
Fuente: generada con ChatGPT - Open AI (2025).

3.2.2.4. Descargas atmosféricas y sobretensiones

Aunque la mina se encuentra bajo tierra, las líneas de alimentación externas y las subestaciones superficiales están expuestas a rayos. Las sobretensiones pueden transmitirse a los equipos subterráneos, afectando su operación y seguridad.

3.2.2.5. Peligros eléctricos en atmósferas explosivas

En labores subterráneas, especialmente en la minería de carbón, la presencia de metano (si no hay un control riguroso de gases) o de polvo de carbón (si los controles son deficientes o no están implementados) puede generar un ambiente con riesgo de explosión si se alcanza una concentración dentro del rango de explosividad.

Un equipo eléctrico inadecuado o una chispa eléctrica, incluso de baja energía, puede detonar una explosión. Por esto, es indispensable contar con estudios para áreas clasificadas y utilizar equipos eléctricos certificados Ex, para controlar la ventilación, entre otros aspectos que deben tenerse en cuenta para evitar explosiones. Por esto, es indispensable contar con estudios para áreas clasificadas y utilizar equipos eléctricos certificados Ex, para controlar la ventilación, entre otros aspectos que deben tenerse en cuenta para evitar explosiones.



Figura 48. Falla eléctrica en atmósfera explosiva.
Fuente: generada con ChatGPT - Open AI (2025).

3.2.2.6. Otros peligros eléctricos

Además de los peligros previamente descritos, otros peligros eléctricos que también pueden manifestarse en una operación minera subterránea serían:

- Energización inesperada de un equipo o instalación a causa de un error operativo.
- Fallas en los sistemas de puesta a tierra.
- Sobrecalentamiento por conexiones defectuosas que pueden derivar en incendios.
- Cortocircuitos por ingreso de agua.
- Interferencia en sistemas auxiliares como ventilación o desagüe.
- Descargas atmosféricas y sobretensiones

3.2.3. Metodología para la identificación de peligros eléctricos

Los pasos de una metodología que permite orientar la identificación de peligros eléctricos en operaciones mineras son:



1. *Inspección visual en campo:*
   a. Revisión del estado de cables, empalmes, tableros, interruptores y lámparas.
   b. Identificación de señales de sobrecalentamiento (olor a quemado, decoloración de aislantes).
   c. Verificación de señalización y etiquetado eléctrico.



2. *Entrevistas y consultas al personal:*
   a. Recolectar información sobre incidentes previos.
   b. Consultar a operadores sobre fallas recurrentes en equipos eléctricos.



3. *Revisión documental:*
   a. Planos eléctricos.
   b. Registros de mantenimiento.
   c. Informes de inspecciones anteriores.



4. *Instrumentación y pruebas técnicas:*
   a. Medición de resistencia de aislamiento en cables y motores.
   b. Verificación de continuidad en sistemas de puesta a tierra.
   c. Termografía para detectar puntos calientes.



5. *Uso de listas de chequeo:*
   a. Estado de tableros eléctricos.
   b. Condición de cables y canalizaciones.
   c. Disponibilidad de EPP eléctricos.
   d. Señalización de riesgo eléctrico.

3.3. Valoración del riesgo eléctrico

Una vez identificados los diferentes peligros eléctricos presentes en el entorno de trabajo dentro de la mina, se procede con la estimación del nivel de riesgo asociado con cada uno de estos.

3.3.1. El concepto de riesgo

En minería subterránea, los riesgos eléctricos suelen tener una alta severidad (por la letalidad de electrocuciones, incendios o explosiones), por lo que su gestión debe ser prioritaria.

El riesgo es la combinación entre la probabilidad de que ocurran uno o más eventos peligrosos y la severidad de las consecuencias que estos puedan generar en la salud de los trabajadores, en la seguridad de las instalaciones, en el medio ambiente o en la continuidad del negocio (Icontec, 2012).

Los riesgos asociados a los diferentes peligros se clasifican acorde con su severidad. En este sentido, se consideran *riesgos críticos* aquellos que, aun con baja probabilidad de ocurrencia, pueden provocar consecuencias catastróficas para las personas, el ambiente, las comunidades y la operación minera. Un riesgo crítico tendría las siguientes características:

1. *Consecuencias graves o fatales:* puede ocasionar muertes múltiples, lesiones permanentes o pérdidas materiales significativas.
2. *Difícil control total:* aunque se implementen medidas preventivas, siempre existe un nivel de exposición.
3. *Alto impacto en la operación:* puede paralizar total o parcialmente la producción.
4. *Necesidad de controles estrictos:* requieren planes de gestión especiales y priorizados.

3.3.2. Evaluación del riesgo acorde al método GTC 45

De acuerdo con Icontec: “La evaluación de los riesgos corresponde al proceso de determinar la probabilidad de que ocurran eventos específicos y la magnitud de sus consecuencias, mediante el uso sistemático de la información disponible” (2012, p. 12).

La GTC 45 plantea que el *nivel de riesgo* se determine como el producto de dos factores: el nivel de probabilidad (con valor entre 2 y 40) y el nivel de consecuencia (con valor entre 10 y 100). Esto es, de acuerdo con la Ecuación 1:

$$NR = NP \times NC, \qquad \text{Ecuación 1}$$

donde:
NR: Nivel de riesgo
NP: Nivel de probabilidad
NC: Nivel de consecuencia (Icontec, 2012, p. 12).

A su vez, el nivel de probabilidad está compuesto por el nivel de deficiencia y el nivel de exposición. Así, como se muestran en la Ecuación 2:

$$NP = ND \times NE, \qquad \text{Ecuación 2}$$

donde:
NP: Nivel de probabilidad
ND: Nivel de deficiencia
NE: Nivel de exposición (Icontec, 2012, p. 12).

De este modo, determinando los niveles de deficiencia y exposición, se obtiene el nivel de probabilidad, que luego se multiplica por el nivel de consecuencia, determinando así el nivel de riesgo para cada peligro identificado.

En la metodología de la GTC 45, el nivel de riesgo estará en un valor entre 20 y 4000, clasificado en cuatro categorías que se exponen más adelante en el apartado 3.3.4.

3.3.3. Metodologías alternativas para la evaluación de riesgos eléctricos

Además del método propuesto en la GTC 45, existen metodologías alternativas que pueden aplicarse para la evaluación del riesgo eléctrico, como se enuncian a continuación.

3.3.3.1. Análisis cualitativo por matrices de probabilidad-severidad

Se utilizan escalas simples (1-5) para estimar:

- *Probabilidad:* casi imposible, poco probable, posible, probable, muy probable.
- *Severidad:* leve, moderada, grave, muy grave, catastrófica.

El producto de ambas arroja un nivel de riesgo que orienta decisiones a la hora de priorizar la asignación de recursos y la urgencia de intervención.

3.3.3.2. Análisis de modos de falla y efectos

Se identifican posibles fallas eléctricas, sus efectos y la criticidad:

- *Falla:* ruptura de aislamiento.
- *Efecto:* energización de carcasa.
- *Criticidad:* electrocución de trabajador, que tiene un nivel crítico.

3.3.3.3. Árbol de fallas o eventos

Se analiza gráficamente cómo diferentes fallas pueden combinarse para generar un accidente eléctrico. Ejemplo: “electrocución” como evento superior → causas: falta de puesta a tierra + ausencia de diferencial + humedad en galería.

3.3.4. Priorización de riesgos eléctricos

Una vez evaluados, los riesgos deben priorizarse, para asignar recursos a su gestión. En la metodología propuesta por la GTC 45 se utilizan las siguientes categorías:

- NR-I (4000-600): deben corregirse inmediatamente, incluso si esto amerita la suspensión de actividades. Es un nivel de riesgo no aceptable. Ejemplo: un cable sin aislamiento en zona de tránsito del personal, que podría tener contacto con un trabajador y generar una electrocución.
- NR-II (500-150): son situaciones que requieren control urgente. Es un nivel de riesgo no aceptable. Ejemplo: un equipo sin puesta a tierra, que podría generar un contacto indirecto.
- NR-III (120-40): precisan planes de mejora programados con fechas y responsables específicos. Es un nivel de riesgo mejorable. Ejemplo: un tablero con señalización deficiente, que pudiese ser intervenido con herramientas o equipos inadecuados.
- NR-IV (20): implican seguimiento y mantener controles existentes. Se puede considerar como aceptable el nivel de riesgo. Ejemplo: la ausencia un programa de mantenimiento eléctrico preventivo que derive en un deterioro anticipado de equipos.

Resulta recomendable utilizar un semáforo de riesgos eléctricos (por ejemplo, verde, amarillo, rojo) asociado a la matriz de clasificación de niveles de riesgos, y en los documentos, para la comunicación de la valoración del riesgo en el entorno laboral a trabajadores y supervisores (véase Figura 49).



Figura 49. Semaforización de niveles de riesgo
Fuente: generada con ChatGPT - Open AI (2025).

3.3.4.1. Mapas de riesgo eléctrico en minas subterráneas

Los mapas permiten visualizar gráficamente los puntos críticos de riesgo eléctrico:

- *Color rojo:* riesgos eléctricos críticos (ej. subestación principal).
- Color amarillo: riesgos medianos (ej. tableros secundarios).
- Color verde: áreas con bajo riesgo.

Estos mapas deben actualizarse al menos una vez por año y ser conocidos por todo el personal, especialmente por aquellas personas con mayor nivel de exposición.

3.3.4.2. Ejemplo 1 en operación minera subterránea

Se presenta la siguiente situación hipotética: mediante una inspección rutinaria se detecta la presencia de un cable expuesto cerca de un frente de explotación, en una zona además con humedad, lo que incrementa la probabilidad de electrocución.

El análisis en la matriz GTC 45 arroja:

- N-Deficiencia: 10 (muy alto).
- N-Exposición: 4 (continua).
- N-Consecuencia: 100 (mortal).

$$NR = 10 \times 4 \times 100 = 4000. \qquad \text{Ecuación 3}$$

- Nivel de riesgo: 4000 (nivel de riesgo y de intervención I).
- Como resultado del ejercicio de análisis, se plantean las siguientes medidas de control:
  - Sustituir cables improvisados por cables certificados con índice de protección IP67.
  - Instalar disyuntor diferencial de alta sensibilidad.
  - Capacitar al personal en identificación de conexiones inseguras.

3.3.4.3. Ejemplo 2 en una mina subterránea

Se detecta la siguiente situación: un tablero de control de bombas con mantenimiento deficiente, en la cual podría generarse un arco eléctrico por acumulación de polvo metálico. Ahora bien, en la evaluación de arco eléctrico, bajo estándar IEEE 1584 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018) arroja como resultado una energía incidente de 10 cal/cm², lo que puede implicar quemaduras de segundo o tercer grado, o la ignición de vestimenta si no tiene el grado de protección ignífuga.

El análisis en la matriz GTC 45 arroja:

- Nivel de deficiencia: 10 (muy alto).
- Nivel de exposición: 2 (continua).
- Nivel de consecuencia: 100 (mortal).

$$NR = 10 \times 2 \times 100 = 2000. \qquad \text{Ecuación 4}$$

- Nivel de riesgo: 2000 (nivel de riesgo y de intervención I)

- Como resultado del análisis y la evaluación, se proponen como medidas de control:
  - Implementar limpieza mensual.
  - Instalar barreras físicas contra polvo.
  - Requerir EPP categoría 3 para trabajos de mantenimiento en tablero.

3.3.5. Riesgo inherente y riesgo residual

La metodología establecida en la GTC 45 diferencia claramente los conceptos de *riesgo inherente* y *riesgo residual.* El primero corresponde al nivel de riesgo asociado a un peligro identificado bajo las condiciones existentes al momento de la evaluación, es decir, antes de la implementación de nuevas medidas de intervención. Este riesgo refleja la exposición real, sin considerar mejoras adicionales en los controles.

Por su parte, el segundo, el riesgo residual, es el nivel de riesgo resultante después de haber definido, aplicado y verificado la eficacia de los controles de intervención considerados pertinentes.

Los controles aplicados para la reducción del riesgo inherente deben corresponder a acciones de mejora, diferentes o complementarias a los controles inicialmente existentes, y deben estar orientados a disminuir la probabilidad de ocurrencia, la severidad de las consecuencias, o ambas, según la naturaleza del peligro evaluado.

Una vez estimado el riesgo residual, se procede a calcular el factor de reducción del riesgo (FRR), el cual permite cuantificar la efectividad de los controles implementados. Este factor se obtiene de la relación entre el nivel de riesgo inicial (inherente) y el nivel de riesgo final (residual), constituyéndose en una herramienta clave para:

- Evaluar la eficacia de las medidas de intervención.
- Priorizar acciones de control adicionales cuando el riesgo residual no sea aceptable.
- Justificar técnica y económicamente la asignación de recursos para la gestión del riesgo.
- Facilitar el seguimiento y la mejora continua del SG-SST.

El FRR se calcula mediante la Ecuación 5:

$$FRR = \frac{NR_i - NR_f}{NR_i} \times 100. \qquad \text{Ecuación 5}$$

donde:

- *FRR:* Factor de reducción del riesgo (%).
- NR_i*:* Nivel de riesgo inicial o inherente.
- NR_f*:* Nivel de riesgo final o residual.

Un valor elevado del FRR indica una mayor efectividad de los controles implementados, mientras que valores bajos evidencian la necesidad de revisar, fortalecer o replantear las medidas de intervención aplicadas.

3.4. Aplicación de controles para prevención y mitigación del riesgo eléctrico

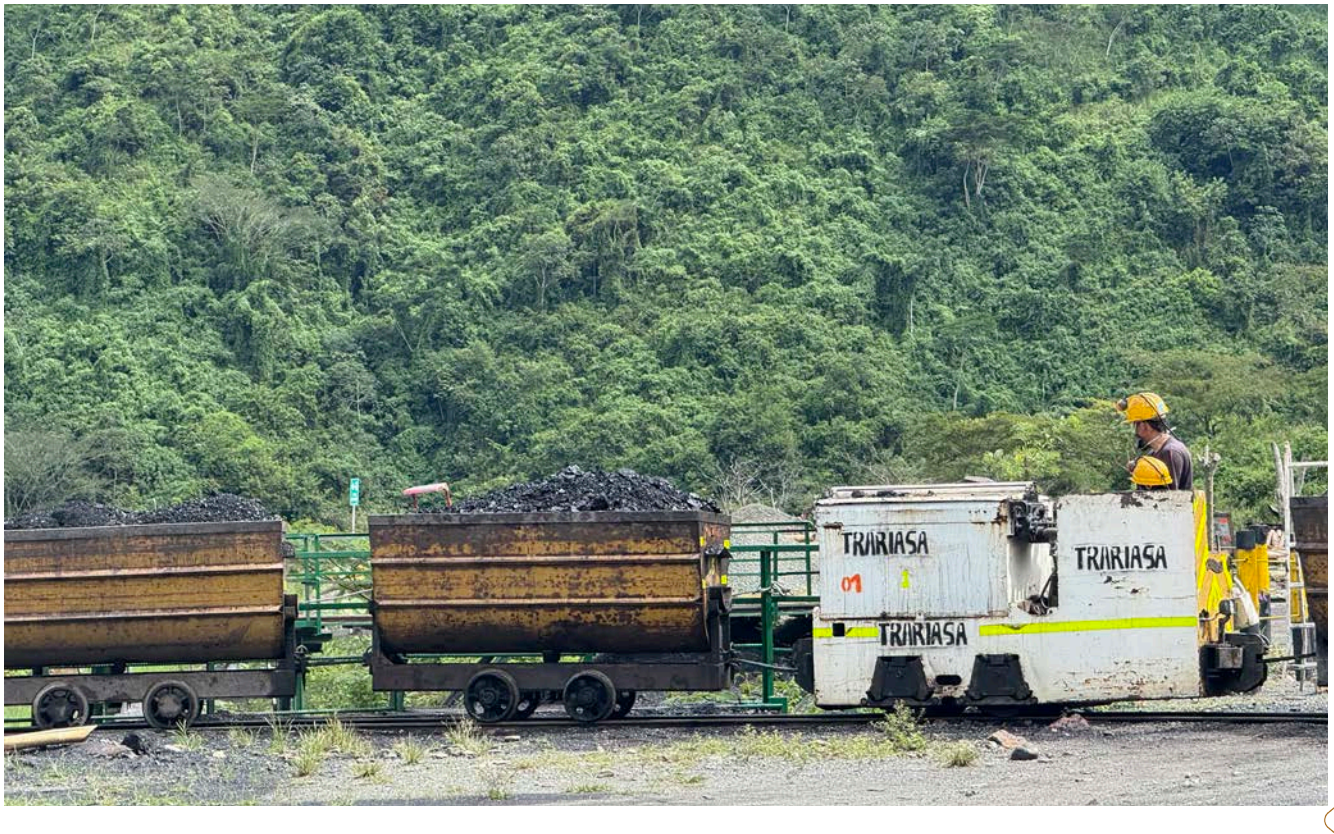
El *control* es el conjunto de acciones planificadas, jerarquizadas y verificables, implementadas para eliminar,sustituir, reducir o mantener dentro de niveles aceptables los riesgos derivados de peligros identificados en la actividad minera. Su finalidad es garantizar la protección de la vida, la salud y el bienestar de los trabajadores, así como la continuidad de la operación, en concordancia con la normativa vigente y bajo los principios de eficacia y eficiencia, y siendo consecuente con la mejora continua del SG-SST.

En términos prácticos, el control comprende todas las acciones orientadas a prevenir accidentes y enfermedades laborales, ya sea eliminando el peligro, modificando las condiciones de trabajo, estableciendo barreras de protección, o empleando EPP.

Algunos principios claves de la aplicación de controles serían:

1. *Finalidad preventiva:* busca anticiparse al daño, actuando antes de que el peligro se materialice en incidentes, accidentes o enfermedades.
2. *Jerarquía de aplicación:* se fundamenta en la jerarquía de controles (eliminación, sustitución, ingeniería, administrativos y EPP).
3. *Enfoque sistémico:* consiste en intervenir considerando la organización como un sistema interrelacionado, donde las personas, los procesos y el entorno influyen entre sí, de manera que la implementación sea de controles integrados y no de acciones aisladas.
4. *Dinamismo:* los controles deben revisarse y ajustarse según cambios tecnológicos, de procesos o de condiciones de trabajo.
5. *Responsabilidad compartida:* la empresa provee los medios y el trabajador aplica los controles, fortaleciendo la cultura preventiva.
6. *Transformación cultural:* la efectividad depende de la participación activa, la consulta y el compromiso de todos los niveles de la organización.

Al momento de aplicar controles, se debe siempre tener presente la jerarquía establecida para su aplicación, bajo criterios de eficacia en la reducción del riesgo y la eficiencia en el uso de los recursos asignados.



En la Figura 50 se muestra la pirámide para la aplicación de controles, siendo esta:

- *Eliminación:* cambio en el propio diseño para retirar de raíz el peligro.
- *Sustitución:* reducción del riesgo al cambiar por un material, dispositivo, energía o elemento que represente un nivel de riesgo menor que el inicial.
- *Controles de ingeniería:* son intervenciones en las instalaciones, máquinas o equipos para controlar los potenciales factores de riesgo.
- *Controles administrativos:* son cambios en las formas de realizar los trabajos (procedimientos, inspecciones, etc.).
- *Elementos de protección personal* (EPP): son dispositivos usados por el trabajador, que no evitan la manifestación del peligro, pero reducen el daño potencial que sufriría la persona en caso de verse afectada.

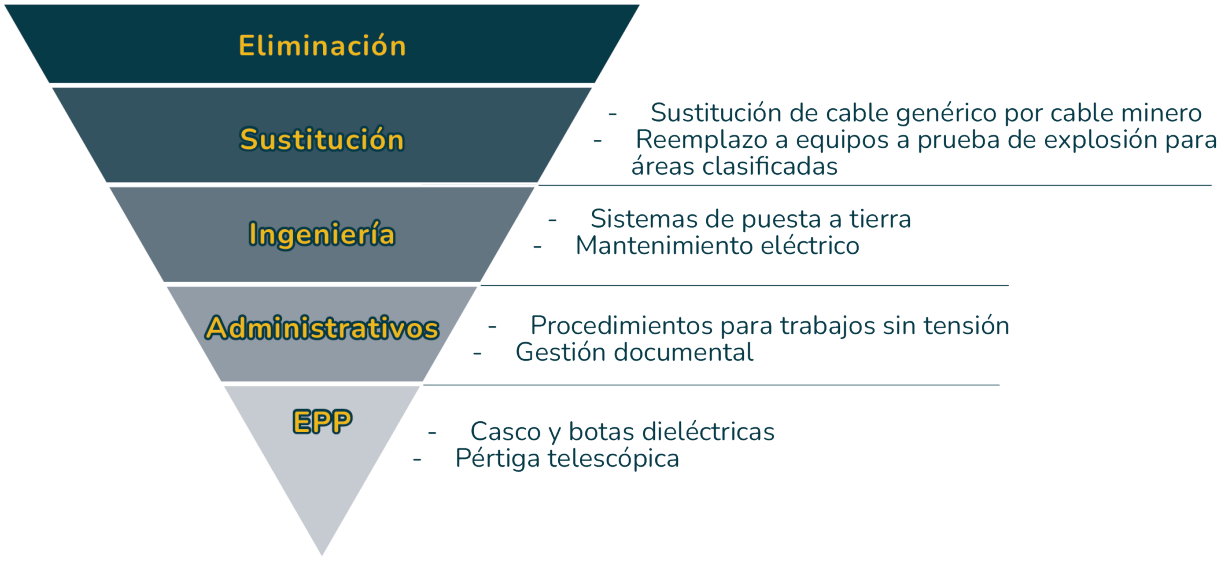


Figura 50. Jerarquía para la aplicación de controles
Fuente: elaboración propia.

Los tres primeros tipos de mecanismos actúan sobre la potencial fuente peligrosa, mientras que los últimos dos se enfocan en la persona que eventualmente podría llegar a verse afectada por la manifestación del peligro.

En riesgos eléctricos, los controles más efectivos suelen estar en el rango de los controles de sustitución, de ingeniería y de los administrativos (protecciones, bloqueo-etiquetado, capacitación), ya que, en la mayoría de los casos, los controles en el rango de eliminación no pueden implementarse. Los EPP son esenciales, pero no sustituyen las medidas de bloqueo o aislamiento de la energía.

A continuación se expone cada uno de estos tipos de controles, presentando ejemplos relevantes en cada caso.



3.5. Controles de sustitución en riesgo eléctrico

En la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea, los controles de sustitución consisten en reemplazar equipos, materiales o tecnologías por alternativas que reduzcan la probabilidad o severidad de un evento eléctrico, sin modificar la naturaleza de la tarea.

Este enfoque busca disminuir el riesgo desde su origen, por ejemplo, sustituyendo sistemas de mayor nivel de tensión por otros de menor energía, cables deteriorados por conductores certificados para uso minero o equipos convencionales por equipos con protección Ex, fortaleciendo así la seguridad operativa en ambientes confinados y potencialmente explosivos.

En esta sección se presentan tres ejemplos de controles de sustitución que suelen ser comunes en el control de riesgo eléctrico dentro de las operaciones subterráneas.

3.5.1. Reemplazo de cable genérico por cable minero

El cable de tipo minero debe usarse siempre por sus condiciones especiales, al ser retardante de llama. A diferencia de un cable convencional, el cable minero es robusto, flexible, resistente a la abrasión, la humedad y la tensión mecánica constante. Está diseñado para ambiente extremo. Además, su construcción especial previene rupturas y cortocircuitos que pueden desencadenar incendios o pérdida de continuidad eléctrica.

Algunos cables mineros tienen en su interior un hilo piloto, que permite la detección temprana de fallas a tierra y la posterior apertura del circuito eléctrico, para evitar posibles circulaciones de corriente por las personas que hacen contacto con un equipo en falla.

Asimismo, el cable minero debe disponerse de manera adecuada, previniendo el choque con maquinaria o personal en tránsito por los túneles, siendo frecuente el uso de colgadores para aferrar al techo del túnel (véase la Figura 51).



Figura 51. Cable eléctrico minero

Fuente: generado con la IA Gemini (Google, 2025).

Por último, en las protecciones mecánicas debe implementarse el uso de recubrimientos adicionales en galerías con tránsito de maquinaria.

3.5.2. Cambio de tableros convencionales por tableros con protección IP e IK apropiadas

Dentro de labores subterráneas todos los tableros eléctricos deben contar con índice de protección (IP) e índice cinético (IK) adecuados.

Como se mencionó en el capítulo 3, el grado IP asegura que los tableros sean resistentes al ingreso de polvo, lodo y agua, elementos típicos del ambiente subterráneo. El grado IK, por su parte, determina la resistencia del tablero a impactos mecánicos, vibraciones y golpes accidentales propios de la operación o por circulación de maquinaria pesada.

Un tablero con protección insuficiente puede deteriorarse rápidamente y convertirse en un punto de falla eléctrica por cortocircuitos en su interior (humedad) o daño en su estructura metálica.

3.5.3. Implementación de equipos a prueba de explosión en áreas clasificadas

Otra exigencia fundamental del RETIE es el uso de equipos a prueba de explosión en áreas clasificadas (Colombia, Ministerio de Minas y Energía —MME—, 2024a), que deben reemplazar a los equipos convencionales en caso de usarse dentro de áreas con presencia de, por ejemplo, gas metano o polvo de carbón. Estos equipos están diseñados para impedir que una chispa interna logre salir al ambiente externo y provoque una explosión en atmósferas con presencia de gases inflamables, como el metano, o de polvos combustibles, como el caso del polvo de carbón.

Una lámpara, un interruptor o una caja de conexiones inadecuada pueden convertirse en punto de ignición. Por eso, en los casos de minas grisutuosas o pulverulentas, solo deben utilizarse equipos certificados para atmósferas explosivas, de acuerdo con el tipo de mina y los estudios que se hayan realizado de las áreas clasificadas.

3.6. Controles de ingeniería en instalaciones eléctricas

Los controles de ingeniería en las instalaciones eléctricas constituyen una importante línea de defensa ante los riesgos derivados del uso de la energía eléctrica. Son modificaciones diseñadas para reducir o eliminar el peligro en la fuente, antes de que llegue al trabajador. Estas modificaciones pueden ser físicas o estructurales, y permanentes en el lugar de trabajo, las herramientas, los equipos o los procesos. Su correcta implementación garantiza la protección de las personas, los equipos y los sistemas frente a fallas eléctricas, contactos indirectos, incendios o explosiones.

Esta sección presenta tres tipos de medidas técnicas para los sistemas eléctricos mineros.

3.6.1. Sistemas de puesta a tierra

Toda instalación eléctrica subterránea debe contar con un sistema de puesta a tierra confiable. Este sistema permite disipar corrientes de falla, contribuyendo a evitar posibles contactos indirectos al personal, generados desde la estructura metálica de los equipos, e igualmente, para proteger las instalaciones eléctricas de averías por sobrecargas súbitas en el sistema.

3.6.2. Distancias de seguridad

Son medidas propuestas en el título 10 del RETIE (Colombia, MME, 2024a, pp. 26-33, Libro 3) que aplican tanto para las instalaciones dentro de túneles como para los montajes en superficie, que, por ejemplo, se utilizan para el servicio auxiliar de fluido eléctrico en túnel, la alimentación de plantas de beneficio o el funcionamiento de edificios o instalaciones administrativas.

3.6.2.1. Distancias de seguridad con respecto a construcciones existentes o proyectadas

Estas distancias son respecto a construcciones, es decir, en caso de construir un nuevo proyecto, estas se deben conservar en cuanto a las líneas aéreas desnudas. En el caso de construcciones ya levantadas que no cumplan esta distancia, se debe realizar el respectivo reporte y complementar con otras medidas de control.

En la Tabla 6 y la Figura 52 se muestran las distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones.

Tabla 6. Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones

Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia vertical “a” sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a las personas y siempre que el propietario o tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control tanto de la instalación como de la edificación (Figura 52)	44/34,5/33	3,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8
	< 1	0,45
Distancia horizontal “b” a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas (Figura 52)	66/57,5	2,5
	44/34,5/33	2,3
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3
	< 1	1,7
Distancia vertical “c” sobre o debajo de balcones o techos de fácil acceso a personas, y sobre techos accesibles a vehículos de máximo 2,45 m de altura (Figura 52)	44/34,5/33	4,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	4,1
	< 1	3,5
Distancia vertical “d” a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular (Figura 52) para vehículos de más de 2,45 m de altura	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	< 1	5

Fuente: adaptada de Colombia, MME (2024a, p. 27, Libro 3).

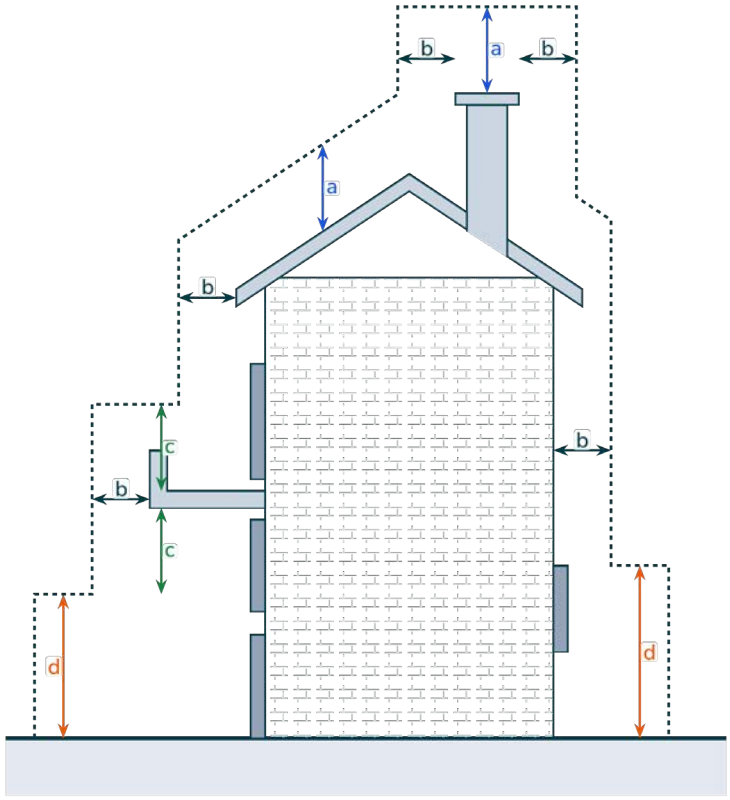


Figura 52. Ilustración de distancias mínimas de seguridad en construcciones
Fuente: Colombia, MME (2024a, p. 27, Libro 3).

3.6.2.2. Distancias de seguridad con respecto a equipos, celdas o tableros

Es la distancia que se debe tener para evitar posibles contactos directos de las personas que realizan alguna intervención o inspección con tablero abierto. En la Tabla 7 se muestran las distancias de seguridad en equipos, celdas o tableros acorde con rangos progresivos de niveles de tensión.

Tabla 7. Distancias de seguridad en equipos, celdas o tableros

Tensión nominal del sistema (fase-fase)	Límite de aproximación seguro (m)		Límite de aproximación restringida (m) (Incluye movimientos involuntarios)	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
50 V-300 V	3	1	Evitar contacto	Evitar contacto
301 V-750 V	3	1	0,3	0,025
751 V-15 kV	3	1,5	0,7	0,2
15,1 kV-36 kV	3	1,8	0,8	0,3
36,1 kV-46 kV	3	2,5	0,8	0,4
46,1 kV-72,5 kV	3	2,5	1	0,7

Tensión nominal del sistema (fase-fase)	Límite de aproximación seguro (m)		Límite de aproximación restringida (m) (Incluye movimientos involuntarios)	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
72,6 kV-121 kV	3,3	2,5	1	0,8
138 kV-145 kV	3,4	3	1,2	1
161 kV-169 kV	3,6	3,6	1,3	1,1
230 kV-242 kV	4	4	1,7	1,6
345 kV-362 kV	4,7	4,7	2,8	2,6
500 kV-550 kV	5,8	5,8	3,6	3,5

Fuente: adaptada de Colombia, MME (2024a, pp. 32-33, Libro 3).

3.6.2.3. Distancias de seguridad con respecto a los arcos eléctricos

Para arcos eléctricos, las distancias de seguridad dependen de la energía incidente de cada tablero, esto es, la cantidad de energía térmica o calor (expresado en cal/cm^2 en superficie) que recibe una superficie (por ejemplo, el cuerpo de una persona) ubicada a una cierta distancia de un posible arco eléctrico y esta se observa en su respectiva etiqueta.

Es un error considerar que las distancias para contacto directo son las mismas que para arco eléctrico.

3.6.2.4. Distancias de seguridad para personal electricista con respecto a redes eléctricas en aéreas desnudas

Quienes trabajan cerca de elementos con tensión deben ser personas competentes, que conocen bien los riesgos asociados a la actividad que se va a desarrollar cerca de elementos energizados y deben acatar las distancias mínimas de seguridad señaladas en la Tabla 8.

Tabla 8. Distancias de seguridad para trabajos cerca a redes y líneas energizadas

Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia mínima (m)
Hasta 1	0,8
7,6/11,4/13,2/13,8	0,95
33/34,5	1,1
44	1,2
57,5/66	1,4
110/115	1,8
220/230	2,8
500	5,5

Fuente: Colombia, Ministerio del Trabajo (2019b, p. 16).

3.6.2.5. Distancias de seguridad para personal no electricista con respecto a redes eléctricas en aéreas desnudas

Las personas no competentes no podrán acercarse directamente o con algún elemento conductor a elementos energizados a distancias menores a las establecidas.

En la Tabla 9 se detallan las distancias mínimas de seguridad a las que se puede acercar una persona no competente a un elemento energizado, como es el caso de personal de telecomunicaciones, poda de árboles, entre otros.

Tabla 9. Distancias de seguridad para personas no competentes

Tensión de la instalación	Distancia (m)
Instalaciones aisladas menores a 1000 V	0,4
Mayor o igual a 1 kV y menor a 57,5 kV	3
Mayor o igual a 57,5 kV y menor a 110 kV	4
Mayor o igual a 110 kV y menor a 220 kV	5
Mayor o igual a 220 kV	8

Fuente: Colombia, Ministerio del Trabajo (2019b, p. 17).

3.6.2.6. Equipos móviles eléctricos y locomotoras

Las locomotoras eléctricas deben circular bajo líneas eléctricas instaladas a altura mínima (≥ 2,5 m). Asimismo, las baterías de estas deben estar en compartimentos ventilados y con sistemas de desconexión de emergencia.

3.6.3. Buenas prácticas de mantenimiento en instalaciones eléctricas

El mantenimiento eléctrico en minería subterránea es un pilar fundamental para la continuidad operativa, ya que:

- Un solo fallo eléctrico puede interrumpir sistemas críticos, como ventilación, bombeo de agua o transporte de mineral.
- La ausencia de mantenimiento puede generar riesgos de electrocución, incendios o explosiones en ambientes con metano y polvo de carbón.

En este sentido, los objetivos del mantenimiento eléctrico son:

1. Garantizar la confiabilidad de las instalaciones eléctricas.
2. Reducir la probabilidad de fallas que puedan desencadenar accidentes.
3. Extender la vida útil de los equipos eléctricos.
4. Cumplir con lo exigido por la normatividad eléctrica y minera.
5. Documentar cada actividad, para asegurar la trazabilidad y demostrar el cumplimiento normativo.

3.6.3.1. Tipos de mantenimiento

Dentro de los tipos de mantenimiento eléctrico en minería subterránea encontramos:

- *Mantenimiento preventivo*
  - Se ejecuta de forma programada y periódica.
  - Incluye: limpieza, ajuste de conexiones, pruebas eléctricas y lubricación de motores.
  - Ejemplo: inspección mensual de tableros eléctricos y pruebas de aislamiento semestrales (véase Figura 53).



Figura 53. Inspección de tablero eléctrico
Fuente: Colombia, MME (2024a, p. 27, Libro3).

- *Mantenimiento predictivo.* Se basa en el monitoreo de condiciones, mediante técnicas avanzadas, y permite programar paradas con anticipación. Algunos ejemplos serían:
  - Termografía infrarroja: identifica puntos calientes.
  - Análisis de vibraciones: detecta fallas en motores eléctricos.
  - Medición de resistencia de aislamiento: anticipa fallas en cables y bobinados.

- *Mantenimiento correctivo.* Se efectúa después de que ocurre una falla. Aunque es inevitable en algunos casos, debe minimizarse, porque expone a los trabajadores a condiciones inseguras. Un ejemplo podría ser el empalme de cables que se hayan roto, con uniones, borneras y cintas de aislamiento adecuadas.

- *Mantenimiento legal.* Requerido por la normatividad colombiana (RETIE —Colombia, MME, 2024a— y Decreto 1886 —Colombia, Presidencia de la República, 2015b—). Incluye pruebas y certificaciones que deben ser efectuadas por personal con matrícula profesional vigente.

3.6.3.2. Procedimientos de mantenimiento en instalaciones eléctricas

En minería subterránea, el mantenimiento de las instalaciones eléctricas es fundamental para garantizar la continuidad operativa y la seguridad del personal. Este proceso permite prevenir fallas, reducir paradas no programadas y asegurar el cumplimiento de las normas técnicas aplicables.

A continuación se describen los procedimientos esenciales de inspección, limpieza, ajuste y verificación que deben aplicarse en los diversos tipos de instalaciones.

- *Tableros eléctricos*
  - Limpieza interna (retirar polvo y humedad).
  - Ajuste de tornillos de conexión.
  - Verificación de calibración de protecciones.
  - Registro en bitácora.
- *Cables eléctricos*
  - Inspección visual de cubiertas.
  - Prueba de resistencia de aislamiento con megóhmetro.
  - Sustitución de cables deteriorados.
- *Transformadores subterráneos*
  - Medición de resistencia de aislamiento.
  - Revisión de temperatura y sistema de ventilación.
  - Verificación de protecciones diferenciales.
- *Motores eléctricos*
  - Revisión de rodamientos y vibraciones.
  - Medición de corriente de arranque y operación.
  - Inspección de conexiones y terminales.
- *Puesta a tierra*
  - Verificación anual (mínima) de resistencia de puesta a tierra.
  - Inspección de conexiones mecánicas.
  - Prueba de continuidad de conductores de protección.

Los procedimientos mencionados ayudan a prevenir la manifestación de fallas recurrentes, como la acumulación de polvo o fallas en la puesta a tierra, que pueden desencadenar incendios eléctricos o electrocución de trabajadores.

3.6.3.3. Nuevas tecnologías para el mantenimiento eléctrico

La evolución tecnológica ha transformado significativamente la manera en que se puede planificar y ejecutar el mantenimiento eléctrico en entornos mineros. Tras establecer procedimientos para la atención de las instalaciones críticas, es pertinente incluir algunas herramientas digitales y sistemas automatizados que optimizan la detección de fallas, la supervisión remota y la trazabilidad de las intervenciones, pues con estos se puede fortalecer la gestión del mantenimiento eléctrico, mejorar la seguridad operativa y aumentar la eficiencia en las labores de inspección y control dentro de la mina subterránea.

- *Drones y robots subterráneos:* inspección en áreas confinadas.
- *Sistema de control supervisor y adquisición de datos (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA):* monitoreo en tiempo real de corriente, tensión y fallas (véase Figura 54).
- *Sensores IoT:* alertas tempranas de sobrecarga o fuga de corriente.
- *Sistema computarizado de gestión del mantenimiento (Computerized Maintenance Management System,CMMS):* planificación, ejecución y trazabilidad digital.

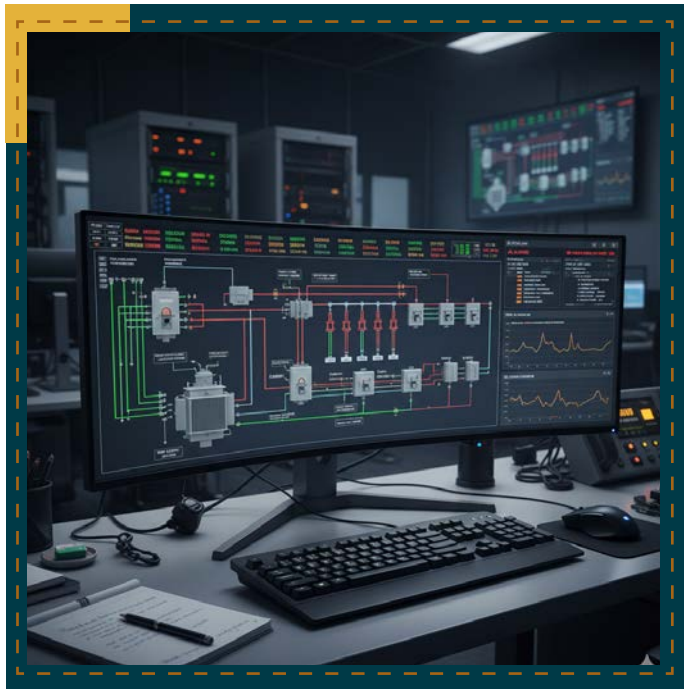


Figura 54. Sistema SCADA

Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

3.6.3.4. Programación del mantenimiento eléctrico

La programación del mantenimiento eléctrico, que estará incluida como parte del Plan de Mantenimiento de la operación debe contender:



- Calendario: actividades diarias, semanales, mensuales y anuales.



- Frecuencias recomendadas:
  - Inspección visual de cables: diaria.
  - Revisión de tableros eléctricos: mensual.
  - Medición de puesta a tierra: anual.
  - Termografía en equipos críticos: semestral.
  - Mantenimiento de equipos como motores, ventiladores, transformadores o plantas eléctricas: semestral.



- Responsables: ingenieros y técnicos electricistas autorizados.

3.6.3.5. Registros y trazabilidad del mantenimiento

Los decretos 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2015b) y 944 de 2022 (Colombia, Presidencia de la República, 2022b) exigen que toda actividad eléctrica en minería esté documentada, utilizando para ello elementos como:

- Bitácora de mantenimiento eléctrico: registro de inspecciones, pruebas y reparaciones.
- Formatos de prueba: mediciones de aislamiento, resultados de termografía.
- Historial de fallas y correcciones.
- Responsables firmantes: ingeniero electricista o técnico con matrícula.
- Ejemplo de formato:
  - Equipo: motor ventilador principal.
  - Actividad: medición de aislamiento.
  - Resultado: 10 MΩ (aceptable).
  - Responsable: ingeniero electricista (firma y matrícula).

3.6.3.6. Roles y responsabilidades

De acuerdo con el tipo de cargo ocupado dentro de la operación minera, nos encontraremos con responsabilidades frente al mantenimiento eléctrico, como:



- *Ingeniero electricista:* responsable del diseño del Programa de Mantenimiento Eléctrico y de las pruebas especializadas.
- *Técnico electricista:* ejecuta las inspecciones, reparaciones menores y registra en bitácora.
- *Supervisor de mina:* verifica que el Plan de Mantenimiento se cumpla y reporta desviaciones.
- *Contratistas:* deben ajustarse a los planes en seguridad de la empresa y entregar registros documentados.

Como síntesis de esta sección encontramos que:

1. El mantenimiento eléctrico es una medida de control preventiva que reduce la probabilidad de incidentes graves.
2. Los programas anuales estructurados permiten garantizar continuidad operativa y cumplimiento normativo.
3. La documentación y la trazabilidad de todas las actividades de mantenimiento es obligatoria y puede ser auditable.
4. La adopción de tecnologías modernas (termografía, IoT, SCADA) mejora la eficacia de los planes de mantenimiento.

3.7. Controles administrativos en riesgo eléctrico

En el contexto de la minería subterránea, los controles administrativos al riesgo eléctrico constituyen el conjunto de políticas, procedimientos y prácticas organizacionales orientadas a prevenir incidentes derivados de la energía eléctrica, cuando no es posible eliminar o sustituir el peligro y el control de ingeniería no basta para la reducción del nivel riesgo hasta un valor tolerable para la operación. Su finalidad es reducir la probabilidad de error humano y asegurar que toda intervención se realice bajo condiciones controladas, trazables y verificables.

Estos controles incluyen la estandarización de tareas críticas (como bloqueo y etiquetado), permisos de trabajo, verificación de competencias en los trabajadores, el manejo de permisos de trabajo, la señalización, entre otros.

3.7.1. Procedimientos de trabajo seguro para intervención de máquinas y equipos eléctricos con o sin tensión

Los trabajos eléctricos en minería subterránea representan un alto riesgo para los trabajadores y la operación. La aplicación de procedimientos de trabajo seguro garantiza que las tareas se lleven a cabo bajo condiciones controladas, minimizando la probabilidad de accidentes por electrocución, incendios o explosiones.

Los decretos 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2015b) y 944 de 2022 (Colombia, Presidencia de la República, 2022b), así como el RETIE (Colombia, MME, 2024a), establecen que:

- Todo trabajo eléctrico debe realizarse con autorización previa.
- Se debe garantizar el aislamiento de la fuente de energía antes de intervenir equipos.
- El personal debe contar con la competencia profesional y los EPP dieléctricos requeridos, entre otros.

En este orden de ideas, como principios de seguridad en trabajos eléctricos se establecen:

1. Primero sin tensión: siempre que sea posible, los trabajos eléctricos deben realizarse sin tensión.
2. Lockout-Tagout (LOTO) obligatorio: todo corte de energía debe estar bloqueado y etiquetado.
3. Autorización escrita: los trabajos eléctricos requieren permiso firmado por el supervisor responsable.
4. Trabajo en equipo: nunca hacer trabajos eléctricos en solitario.
5. EPP adecuados: uso de guantes dieléctricos, casco con visera, botas y ropa ignífuga.
6. Inspección previa: verificar condiciones de seguridad antes de iniciar la tarea.



3.7.1.1. Procedimiento de trabajos sin tensión (LOTO)

El sistema LOTO consiste en bloquear y etiquetar las fuentes de energía para evitar su energización accidental durante trabajos de mantenimiento o reparación.

Los pasos del procedimiento LOTO son:

1. *Notificar:* informar al personal afectado sobre el corte de energía.
2. *Desenergizar:* desconectar la alimentación en el interruptor general.
3. *Bloquear:* colocar candado (o candados si intervienen 2 o más trabajadores) de seguridad en el dispositivo de corte.
4. *Etiquetar:* fijar tarjeta indicando “No energizar – Trabajo en curso”.
5. *Liberar energía residual:* descargar condensadores y sistemas acumuladores.
6. *Verificar ausencia de tensión:* usar detector de voltaje certificado.
7. *Realizar el trabajo:* ejecutar mantenimiento o reparación.
8. *Retirar el bloqueo*: solo el responsable autorizado puede quitar su candado.
9. *Restaurar el servicio:* energizar el sistema y notificar al personal.

Las reglas clave del LOTO en minería subterránea son:

- Cada trabajador que va a intervenir debe tener su propio candado.
- Nunca se deben compartir candados.
- El supervisor debe llevar un registro de candados y permisos de trabajo.
- En equipos críticos (ventiladores, bombas), se debe coordinar con la sala de control antes de desenergizar.

3.7.1.2. Reglas de oro para intervenir un sistema eléctrico en trabajos sin tensión

- *Corte efectivo de las fuentes de tensión.* Realizar el corte efectivo de todas las fuentes de tensión, mediante interruptores, seccionadores u otros elementos (véase Figura 55).



Figura 55. Apertura de circuito
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Bloqueo y etiquetado.* Operación que impide la reconexión del dispositivo sobre el que se ha efectuado el corte efectivo, la cual permite mantenerlo en la posición determinada e imposibilita su cierre intempestivo. Para esto se utilizan candados dieléctricos y etiquetas donde se evidencie el nombre de la persona y la actividad realizada, entre otros aspectos (véase Figura 56).



Figura 56. Bloqueo y etiquetado
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Verificar la ausencia de tensión.* Antes de realizar la actividad, se debe verificar la ausencia de tensión en cada una de las fases, con el detector de tensión apropiado al nivel de tensión nominal de la red. A este equipo se le debe probar su funcionamiento con una línea energizada antes y después de cada utilización.

  Asimismo, se debe probar la ausencia de tensión en todos y cada uno de los conductores que estén en el entorno del lugar del trabajo. El hecho de que una o dos fases del circuito no tengan tensión, no descarta que la tercera no se encuentre energizada (véase Figura 57).



Figura 57. Verificación de ausencia de tensión
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Puesta a tierra y cortocircuito.* Hasta esta regla el sistema siempre se debe considerar energizado.

  La puesta a tierra y cortocircuito es la acción de unir entre sí todas las fases de una instalación, mediante una puesta a tierra temporal de sección adecuada, que previamente ha sido conectado a tierra (véase Figura 58). El propósito es descargar la energía residual y evitar que el equipo sea energizado, así el candado esté retirado.



Figura 58. Puesta a tierra
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

- *Señalización y delimitación del área de trabajo.* Es la actividad de indicar, mediante carteles con frases o símbolos, el mensaje que debe cumplirse para prevenir el riesgo de accidente (véase Figura 59).



Figura 59. Área señalizada para trabajo
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

El área de trabajo debe ser delimitada por vallas, manilas o bandas refractivas. En los trabajos nocturnos se deben utilizar conos o vallas fluorescentes y, además, señales luminosas.

3.7.1.3. Procedimiento de trabajos con tensión

El artículo 6 de la Resolución 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo establece que

> Se considera trabajo con tensión todo aquel que se ejecute sobre una instalación o equipo energizado con tensión eléctrica igual o superior a 25 voltios; también será considerado con tensión, aquel elemento no puesto a tierra en su parte activa antes de ser intervenido, como parte de las reglas de oro de seguridad eléctrica. (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b)

Los trabajos con tensión exigen procedimientos estrictos, personal altamente competente y el uso de métodos y equipos certificados para controlar el riesgo de choque o arco eléctrico. Para su realización deben tenerse presente los siguientes aspectos:

- *Condiciones para trabajos con tensión.* Los trabajos con tensión deben realizarse únicamente cuando:
  - Es imposible desenergizar el circuito (ej. pruebas de diagnóstico).
  - La continuidad del servicio es crítica (ej. ventilación principal).
  - Existe autorización escrita del jefe de mantenimiento eléctrico.

- *Requisitos para trabajos con tensión*
  - Personal calificado (ingeniero, tecnólogo o técnico electricista o electromecánico con matrícula).
  - Permiso de trabajo escrito y aprobado.
  - EPP dieléctrico certificado (véase el apartado 3.8):
    - Guantes clase 00-4 (según voltaje).
    - Ropa ignífuga, categoría National Fire Protection Association (NFPA) 70E (NFPA, 2024a).
    - Pantalla facial con protección contra arco eléctrico.
  - Herramientas aisladas: destornilladores, pinzas y pértigas.
  - Distancias de seguridad: definidas según voltaje y norma NFPA 70E (NFPA, 2024a).

- *Procedimiento general*
  1. Revisar y aprobar el permiso de trabajo con tensión.
  2. Delimitar el área con cintas y señalización.
  3. Confirmar condiciones ambientales seguras (sin humedad excesiva, gases explosivos o polvo).
  4. Colocarse EPP completo.
  5. Realizar la tarea con mínimo dos trabajadores (ejecutor + observador).
  6. Retirar herramientas, limpiar el área y cerrar el permiso de trabajo.

3.7.1.4. Procedimientos especiales en minería subterránea

En el ámbito de las operaciones mineras subterráneas encontramos los siguientes procedimientos, que ameritan consideraciones particulares:

- *Trabajos en atmósferas explosivas (minas de carbón)*
  - Solo se permite el uso de equipos eléctricos a prueba de explosión.
  - Se debe verificar la concentración de metano antes y durante el trabajo.
  - Si la concentración supera el 1 %, el trabajo debe suspenderse de inmediato.
- *Trabajos en espacios confinados con riesgo eléctrico*
  - Evaluación previa de gases.
  - Uso de iluminación intrínsecamente segura.
  - Presencia de un vigía externo.
- *Pruebas de equipos eléctricos en campo*
  - Se deben realizar con instrumentos calibrados.
  - Siempre bajo supervisión de un ingeniero electricista.
- *Roles y responsabilidades en los trabajos eléctricos*
  - Ingeniero electricista: autoriza y supervisa trabajos críticos.
  - Supervisor de mina: valida permisos y coordina con operaciones.
  - Técnico electricista: ejecuta trabajos con o sin tensión según autorización.
  - Observador de seguridad: vigila el cumplimiento de procedimientos.
  - Personal operativo: no debe intervenir instalaciones eléctricas.
- *Errores comunes detectados en minería colombiana*
  - Realizar trabajos eléctricos sin desenergizar ni bloquear.
  - Usar extensiones eléctricas improvisadas.
  - No verificar la ausencia de tensión antes de iniciar labores.
  - No portar guantes ni ropa ignífuga en trabajos con tensión.
  - Retirar candados de LOTO sin autorización.

En síntesis:

1. El procedimiento LOTO debe ser la práctica general para trabajos eléctricos en minería subterránea.
2. Los trabajos con tensión solo deben ejecutarse bajo condiciones estrictas de seguridad, con personal calificado y autorización escrita, sí y solo sí, es inviable hacerlo de otra manera.
3. La documentación (permisos, registros) es fundamental para la trazabilidad y la supervisión.
4. La disciplina en la aplicación de los procedimientos de trabajo seguro reduce significativamente la probabilidad de electrocución y arco eléctrico.

3.7.2. Competencias y habilitación de trabajadores y contratistas en oficios eléctricos

Los trabajos eléctricos solo pueden ser efectuados por personas competentes que cuenten con su respectiva matrícula profesional y habilitación, esto es, tener una autorización de la empresa para realizar determinadas actividades, renovada anualmente, conforme a lo establecido en el artículo 172 del Decreto 1886 del 2015. Implican formación técnica certificada, entrenamiento específico en riesgos eléctricos, evaluación periódica de habilidades y autorización formal por parte del empleador, o del contratante, para los casos en que las intervenciones en instalaciones eléctricas se contraten de manera tercerizada.

3.7.2.1. Normativa sobre competencias y responsabilidad del personal electricista

El RETIE establece, en su "Título 2 - Competencias y responsabilidades de las de personas [sic] que intervienen en las instalaciones eléctricas", lo siguiente:

> Artículo 3.2.1. Competencia de personas naturales.
> El diseño, construcción, ampliación, modificación, remodelación e inspección de toda instalación eléctrica objeto del RETIE, así como la operación, el mantenimiento y cualquier intervención o manipulación de la instalación o sus equipos, debe ser dirigida, supervisada y ejecutada por personas técnica y legalmente competentes, que según la ley Colombiana les faculte para efectuar esa actividad; quienes además deben cumplir con todos los requisitos del presente Reglamento y demás normas legales o reglamentarias; así como, la jurisprudencia que le apliquen. Tales actividades corresponden a los siguientes profesionales, quienes responderán por los efectos resultantes de su participación en la instalación:
>
> a. Ingenieros Electricistas, Electromecánicos, de Distribución y Redes Eléctricas, de conformidad con las Leyes 51 de 1986 y 842 de 2003 y demás que la adicionen, modifiquen o sustituyan. Ingenieros Electrónicos, Ingenieros de Control, Ingenieros Físicos y de otras ingenierías especializadas en actividades relacionadas con las instalaciones eléctricas, sólo deberán intervenir las partes o componentes de la instalación eléctrica que le corresponda a su especialización y competencia técnica y legal. Para la determinación del alcance del ejercicio profesional de los ingenieros que intervienen las instalaciones objeto del reglamento, conforme las leyes que regulan el ejercicio de dichas profesiones se deben considerar los siguientes criterios:
>
> 1. Pensum de formación del pregrado (Tenga en cuenta que el postgrado no es susceptible de inscripción en el registro profesional de ingeniería y no modifica el alcance del pregrado, de acuerdo con el parágrafo 1 del artículo 7o de la Ley 842 de 2003)
> 2. Núcleo básico del conocimiento (El cual se puede consultar en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior – SNIES del Ministerio de Educación Nacional)
> 3. El perfil del egresado establecido por cada institución de educación superior.
> 4. Clasificación Única de Ocupaciones para Colombia – CUOC, oficializada, adoptada y adaptada, por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE.

b. Tecnólogos en electricidad o en electromecánica, tecnólogos en sistemas eléctricos de media y baja tensión, tecnólogos en mantenimiento eléctrico, de acuerdo con la Ley 842 de 2003 y en lo relacionado con su Consejo Profesional se regirá por la Ley 392 de 1997 de conformidad con lo establecido en la Sentencia C - 570 de 2004.

c. Técnicos electricistas conforme a las Leyes 19 de 1990 y 1264 de 2008, en el alcance que establezca su matrícula profesional para el ejercicio de la profesión a nivel medio o como auxiliar del Ingeniero electricista o similares.

[...] Parágrafo 2: En las actividades donde se actúe bajo la supervisión de una persona competente, este será quien debe suscribir con su nombre legible y firma, la declaración de cumplimiento de la instalación [...].

Parágrafo 3: Si la persona que dirige o ejecuta directamente la instalación eléctrica no posee matricula profesional, o teniendo matrícula profesional no tiene la competencia conforme a las leyes que regulan el ejercicio de su profesión, el operador de red no debe poner en servicio la instalación [...] [sic]. (Colombia, MME, 2024a)

3.7.2.2. Entidades que certifican al personal electricista

Para el caso de profesionales, tecnólogos y técnicos, las siguientes entidades regulan su actividad conforme el tipo de formación que tenga:

- Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines (véase Figura 60). Para validar la matrícula profesional, véase Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines (2024).



Figura 60.
Logo del Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines
Fuente: Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines (2024).

- Consejo Profesional Nacional de Ingeniería (COPNIA) (véase Figura 61). Para la autenticación del certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios, véase COPNIA (s. f.).



Figura 61.
Logo del Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Fuente: Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines (2024).

- Consejo Profesional Nacional de Tecnólogos en Electricidad, Electromecánica, Electrónica y Afines (CONALTEL) (véase Figura 57). Para validar la matrícula, se puede consultar CONALTEL (2021).

Figura 62. Logo del Consejo Profesional Nacional de Tecnólogos en Electricidad, Electromecánica, Electrónica y Afines
Fuente: CONALTEL (2021).

- Consejo Nacional de Técnicos Electricista (CONTE) (véase Figura 58). Para validar la matrícula, véase CONTE (2025b).

Figura 63. Logo del Consejo Nacional de Técnicos Electricistas
Fuente: CONTE (2025b).

De acuerdo con lo presentado, el personal interno o de empresas contratistas debe tener matrícula profesional que lo avale para llevar a cabo las actividades eléctricas.

Es importante tener en cuenta que para poseer título como ingeniero o tecnólogo es obligatorio realizar estudios en instituciones educativas, mientras que para el nivel de técnico existe la alternativa de obtener matrícula por medio de la *experiencia, estudios, cursos mayores a 160 horas o certificación de competencia;* por esta razón, son más restringidas sus actividades eléctricas, porque dependen de la clase de matrícula profesional que expida el CONTE.

3.7.2.3. Clases de matrículas que aplican para los técnicos electricistas

Las matrículas aplicables para técnicos electricistas se describen en el artículo 2.2.3.5.2.2.5.1 del Decreto 1073 de 2015:

> *Clases de Matrículas.* El Consejo Nacional de Técnicos Electricistas -CONTE- otorgará las matrículas a que se refiere el artículo 3 de la Ley 19 de1990, de conformidad con la siguiente clasificación de actividades:
> *CLASE [Técnico electricista] TE1. Técnico en instalaciones eléctricas interiores.* A los Técnicos Electricistas que lleven a cabo el estudio aplicado al montaje y reparación de circuitos eléctricos de todo tipo de salidas para tomacorrientes, enchufes, salidas para alumbrado, lámparas y luminarias, interruptores, conexiones especiales, tableros de distribución de circuitos, equipos de medida, protección, control, señalización y servicios auxiliares de instalaciones eléctricas residenciales y comerciales.
> *CLASE TE2. Técnico en bobinados eléctricos y accesorios.* A los Técnicos Electricistas que lleven a cabo el estudio aplicado al mantenimiento, rebobinado, reparación, montaje, conexiones y mando de todo tipo de transformadores eléctricos, motores eléctricos, generadores eléctricos y equipo de instalaciones eléctricas y accesorios de instrumentación electrónica industrial.
> *CLASE TE3. Técnico en mantenimiento eléctrico.* A los Técnicos Electricistas que lleven a cabo el estudio aplicado a la operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas y accesorios electrónicos industriales, relacionados con la instrumentación, accionamientos y control de máquinas, equipos y aparatos mecánicos, hidráulicos o neumáticos.
> *CLASE TE4. Técnico en electricidad industrial.* A los Técnicos Electricistas que lleven a cabo el estudio aplicado a la fabricación, construcción y montaje de: transformadores eléctricos, motores eléctricos, generadores eléctricos, baterías, equipo eléctrico y accesorios electrónicos de medida, protección, maniobra, control automático, interrupción, señalización, variación de velocidad, compensación reactiva, dispositivos relevadores; así también para subestaciones capsuladas, armarios de contadores, tableros de protección y distribución de circuitos eléctricos, celdas de alta y baja tensión, centros de control de motores eléctricos, tableros de mando eléctrico, señalización, cofres y controles eléctricos especiales.
> *CLASE TE5. Técnico en redes eléctricas.* A los Técnicos Electricistas que lleven a cabo el estudio aplicado a la construcción, montaje, conexión, maniobra y mantenimiento de redes eléctricas aéreas y subterráneas, subestaciones eléctricas de distribución y los equipos de protección, medida, control eléctrico y accesorios electrónicos asociados; así como equipos eléctricos y accesorios electrónicos de pequeñas centrales eléctricas.
> *CLASE TE6. Técnico en instalaciones eléctricas especiales.* A los Técnicos Electricistas que lleven a cabo el estudio aplicado al montaje, conexión, mantenimiento y reparación de equipos eléctricos para instalaciones especiales, tales como electrodomésticos, parque automotor, aeronaves, embarcaciones, telecomunicaciones, telefonía, circuitos cerrados de televisión, alarmas, antenas, centros de cómputo, etc. (Colombia, Presidencia de la República, 2015c, p. 281)

Como se deduce de lo presentado, para realizar actividades eléctricas en Colombia se requiere que la clase de matrícula asignada sea acorde con la actividad que se va a ejecutar. Si la persona no tiene matrícula profesional o su alcance no aplica, no debería llevar a cabo la actividad; sin embargo, podría iniciar el proceso para la expedición de matrícula por primera vez o actualización, teniendo en cuenta que para lo segundo no aplica la experiencia, sino solo cursar algunos estudios.

Los requisitos para la expedición o actualización se pueden consultar en CONTE (2025c).

En este sentido, el RETIE también establece:

> Artículo 3.2.2. Responsabilidad de los constructores. El responsable de la construcción, ampliación o remodelación de cualquier obra civil, estructura o edificación donde se incorpore algún tipo de instalación eléctrica objeto del RETIE y la persona competente responsable de la dirección o la construcción directa de la instalación eléctrica deben [...]
> a. Contratar personas técnica y legalmente competentes para ejecutar las actividades de diseño, construcción, remodelación o ampliación de la instalación eléctrica [...] (Colombia, MME, 2024a)

3.7.2.4. Habilitación del personal

La habilitación es una autorización que otorga la empresa a las personas que realizarán actividades eléctricas (con o sin tensión).

La habilitación o autorización se centra en verificar que la persona cumpla con las condiciones necesarias para llevar a cabo actividades con exposición a riesgo eléctrico. Este proceso incluye:

- *Evaluación de la salud física y mental:* validar que la persona se encuentra en óptimas condiciones de salud física y mental para desempeñar actividades eléctricas de manera segura.
- *Validación de los conocimientos técnicos y prácticos:* garantizar que la persona posee los conocimientos técnicos y las habilidades prácticas necesarias para ejecutar las labores de forma competente y según los estándares de seguridad requeridos.

Este procedimiento asegura que solo personal calificado y apto participe en tareas relacionadas con riesgos eléctricos, reduciendo así la probabilidad de incidentes o accidentes laborales.

En una habilitación se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Procedimiento escrito del paso a paso para realizar el proceso de habilitación (autorización).
- Exámenes médicos físicos y mentales, teniendo en cuenta lo establecido en la Resolución 5018 de 2019 del Ministerio del Trabajo (Colombia, Ministerio del Trabajo, 2019b).
- Exámenes técnicos y de seguridad eléctrica aplicados al personal electricista.
- Certificado de competencia laboral en caso de que aplique y se cuente con organismo que lo suministre.
- Constancia de habilitación.

Las habilitaciones se deben realizar de forma anual o antes, de acuerdo con lo establecido en el procedimiento.

La matrícula profesional y la habilitación son los documentos requeridos para que el personal técnico emprenda las actividades eléctricas. La matrícula no es suficiente.

3.7.2.5. Personal no electricista

En la construcción de instalaciones eléctricas se permite el apoyo de personal no electricista; sin embargo, sus funciones están limitadas, porque no son personas competentes (matrícula profesional). Ellos pueden efectuar actividades donde no estén expuestos al riesgo eléctrico.

> Conforme al parágrafo 1 del artículo 3.2.1 del RETIE, las
>
> > Actividades relacionadas con la instalación que no están directamente asociadas con riesgos de origen eléctrico, tales como, apertura de regatas o excavaciones, obras civiles, tendido de conductores, rocerías y podas de vegetación en zonas de servidumbres, hincada de postes, operaciones de grúa y en general las actividades desarrolladas por los ayudantes de electricidad, pueden ser ejecutadas por personal no electricista, conforme a la definición del presente reglamento y deben estar bajo la supervisión de una persona competente en electrotecnia. (Colombia, MME, 2024a, p. 9, Libro 3)

El RETIE define al personal no electricista como las “Personas empleadas en trabajos de construcción, ampliación, modificación o labores, supervisada por profesionales competentes, responsables de evitar los riesgos que podría generar al desarrollar una actividad relacionada con la electricidad” (Colombia, MME, 2024a, p. 19, Libro 1).

Algunas actividades *que podría realizar* el personal no electricista son:

- Excavaciones en el piso para ubicación de tuberías eléctricas.
- Halado de cableado eléctrico.
- Instalación de tubería eléctrica plástica o metálica.
- Instalación de salidas eléctricas (solo cajas sin conexión del elemento: tomacorriente, plafones, interruptor manual, entre otros).
- Instalación de tableros (solo asegurarlo a la pared, pero sin conexión del elemento: totalizador, interruptores automáticos, barraje de tierra, neutro, entre otros).
- En general, actividades que no estén asociadas con exposición al riesgo eléctrico o conexión de equipos eléctricos.

En contraposición, las actividades *que no debe realizar* el personal no electricista son:

- Mediciones de corriente y de tensión en pruebas, y puesta en servicio de equipos eléctricos o de salidas eléctricas.
- Diagnóstico y corrección de fallas eléctricas en tableros, celdas, salidas eléctricas, entre otros.
- Conexiones eléctricas de tableros de distribución en baja tensión.
- Apertura y cierre de interruptores automáticos desde la subestación.

En este orden de ideas, en los casos en que el personal no electricista requiera ingresar a una instalación eléctrica, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Recibir información relacionada con el riesgo eléctrico al cual se puede ver expuesto.
- Diligenciar el formato de la autorización de ingreso a la instalación eléctrica.
- Leer y firmar la guía de conductas y condiciones de seguridad y salud en el trabajo (SST) para ingresar a una instalación eléctrica. Esta información debe estar al ingreso del sitio.

Asimismo, es importante tener en cuenta que el personal no electricista en algunas ocasiones presenta más accidentes que el personal técnico; por esta razón, se debe revisar muy detalladamente la exposición al riesgo desde la matriz de riesgos, con sus respectivos controles.

3.7.3. Gestión documental en seguridad eléctrica

Como complemento para garantizar las condiciones técnicas de las instalaciones, un componente que fortalece y organiza la seguridad eléctrica en minería subterránea es el control documental.

Los documentos no son simples papeles o formatos; son herramientas que permiten planear, verificar y controlar cada actividad eléctrica realizada en la mina.

Tenerlos actualizados y aplicados correctamente genera sinergia con otras medidas de prevención, reduce de manera significativa la probabilidad de accidentes y refleja el compromiso de toda la cadena de mando con el funcionamiento del sistema de gestión.



Dentro de la documentación relevante para la gestión de la seguridad eléctrica se encuentra:

- *Matriz de riesgos con actividades eléctricas:* un documento esencial es la matriz de riesgos, donde se identifican las actividades eléctricas, sus peligros, las valoraciones de riesgo y los controles necesarios.
  Sin una matriz actualizada, las actividades eléctricas se llevan a cabo sin controles establecidos, lo cual incrementa la exposición al riesgo.
- *Procedimientos de las actividades eléctricas:* para reducir errores humanos y estandarizar las prácticas, se debe contar con procedimientos escritos para cada tipo de actividad eléctrica: maniobras de energización o desenergizado de equipos o instalaciones, instalación de cableado, realización de termografías, mediciones eléctricas, mantenimiento de motores o tableros, entre otras.
  Cuando existe un procedimiento claro, con pasos definidos y responsabilidades asignadas, se trabaja con menor riesgo y mayor control.
- *Permiso de trabajo eléctrico:* este documento asegura que cada intervención eléctrica sea revisada, autorizada y ejecutada bajo condiciones seguras.
  Incluye verificaciones como bloqueo y etiquetado, desenergizado, medición de ausencia de tensión, delimitación del área, uso de EPP, competencias del personal, entre otros aspectos.
- *Matriz de EPP:* se define según cada actividad eléctrica, qué protección debe utilizar el trabajador: guantes dieléctricos, caretas de arco eléctrico, ropa ignífuga, botas dieléctricas, entre otros.
  Esta matriz evita el uso incorrecto o insuficiente de EPP y garantiza que cada actividad esté respaldada por la protección adecuada.
- *Formatos de inspección de EPP y equipos eléctricos:* estos formatos permiten verificar el estado real de los guantes dieléctricos, la protección facial, las herramientas dieléctricas, la ropa ignífuga y los demás equipos antes del trabajo.
  Una inspección sencilla evita que un trabajador ejecute actividades eléctricas con EPP deteriorados, vencidos o contaminados.
- *Protocolo de comunicaciones:* en minería subterránea, donde la comunicación puede verse limitada por la distancia, por los equipos y por las condiciones del terreno, es indispensable contar con un protocolo de comunicaciones.
  Este protocolo establece cómo se coordina y se informa cada actividad eléctrica, qué canales se utilizan, quién autoriza, quién supervisa y cómo se reportan las emergencias.

Además de los mencionados, otros documentos para fortalecer el sistema de prevención en seguridad eléctrica serían:

- Listas de verificación.
- Registros de capacitación en riesgo eléctrico.
- Formato de reportes de fallas eléctricas.
- Planes de emergencia específicos para eventos eléctricos.

El control documental es un apoyo que, aplicado de forma correcta, incrementa considerablemente la seguridad eléctrica.

3.7.4. Señalización y rotulación eléctrica

La señalización y la rotulación es un aspecto crítico en la gestión del riesgo eléctrico. Su correcta implementación impacta la reducción de accidentes por contacto directo, contacto indirecto y arco eléctrico.

Dentro de los aspectos clave que debe cumplir una señalización bien implementada se encuentran: adaptación a condiciones subterráneas, implementación sistemática de la señalización, inspecciones y mantenimiento de la señalización, y capacitación del personal sobre el significado de la señalización.

3.7.4.1. Adaptación a condiciones subterráneas

Las minas subterráneas presentan un ambiente que puede generar rápido deterioro de los elementos de señalización, sumado a condiciones como baja iluminación, alta humedad, polvo y superficies irregulares. La falta de visibilidad es un factor recurrente en incidentes eléctricos subterráneos, especialmente en tableros y cables de media tensión. Por ello, la señalización eléctrica debe:

- Tener alto contraste.
- Usar materiales reflectivos o fotoluminiscentes.
- Mantener un tamaño mínimo de letras y pictogramas.
- Estar colocada a la altura del campo visual, generalmente entre 1,5 m y 1,7 m.
- Elaborarse en materiales adecuados para el ambiente minero.

3.7.4.2. Implementación sistemática de la señalización

La colocación de la señalización debe hacerse apuntando a cumplir con lo exigido en la normatividad aplicable, especialmente en el RETIE (Colombia, MME, 2024a), complementado por la revisión de estándares como: NFPA 70 (NFPA, 2023), NFPA 70E (NFPA, 2024a), IEC 60417 (IEC, 2025b) e ISO 7010 (ISO, 2019a).

Dentro de los aspectos que deben rotularse sistemáticamente encontramos:

- Tensión del equipo (ej. 440 V, 1000 V, 5 kV, 13,2 kV).
- Tipo de sistema de puesta a tierra.
- Circuitos críticos.

Para los casos de minas con equipos de media tensión (subestaciones móviles, centros de carga, tableros de arrancadores de ventiladores, etc.), es recomendable colocar etiquetas de advertencia de arco eléctrico (véase Figura 64), indicando aspectos como:

- Energía incidente calculada (cal/cm²).
- Distancia de seguridad.
- Categoría de EPP para labores específicas.



Figura 64. Etiqueta de estudio de arco eléctrico
Fuente: generada con la IA ChatGPT (Open AI, 2025).

La señalización eléctrica debe integrarse con mapas de riesgos de la mina, rutas de evacuación, planes de atención de emergencias y procedimientos de bloqueo y etiquetado, asegurando con esto la coherencia en toda la operación. En este sentido, deben señalizarse lugares como:

- Rutas principales de cables de media tensión.
- Zonas de cruce entre maquinaria y cables.
- Cables enterrados o parcialmente expuestos (véase Figura 65).



Figura 65. Señalización en subestación eléctrica
Fuente: archivo de fotografías de la ANM y la Universidad Nacional de Colombia.

3.7.4.3. Inspecciones y mantenimiento de la señalización

El proceso de inspección y mantenimiento de la señalización debe ser rutinario para todas las instalaciones eléctricas subterráneas, por lo que resulta imprescindible contar con un procedimiento formal de inspección, en el que al menos se realice:

- La verificación del estado de los elementos, que las señales no estén rotas, sucias o ilegibles.
- La actualización de los rótulos cuando se reconfiguren circuitos.
- El aseguramiento de que la codificación por colores no se degrade.

3.7.4.4. Socialización sobre el significado de la señalización

La señalización solo es efectiva si los trabajadores conocen su significado; por esto, se debe garantizar siempre emprender inducciones específicas para personal nuevo y contratistas, con una respectiva evaluación que asegure la adquisición del conocimiento y que se complemente con inspecciones periódicas para verificar la comprensión y el cumplimiento.

3.7.5. Capacitación y entrenamiento del personal

La capacitación del personal en riesgo eléctrico y el entrenamiento de trabajadores para la realización de trabajos eléctricos constituyen una herramienta estratégica para desarrollar las competencias, habilidades, actitudes y aptitudes necesarias para la gestión segura de la energía eléctrica. Su implementación sistemática permite tender a homogeneizar el nivel de conocimiento del personal, reducir la exposición a riesgos críticos y promover una cultura preventiva basada en el autocuidado y la mejora continua.

Una capacitación y el entrenamiento adecuado permite al personal identificar peligros, aplicar procedimientos seguros y reaccionar ante emergencias.

La programación de capacitaciones y entrenamiento debe adaptarse a las características específicas de cada mina, contemplando tanto la formación técnica de los especialistas como la sensibilización permanente del personal operativo ante los peligros eléctricos.

3.7.5.1. Requisitos de competencias profesionales y laborales

La gestión segura del riesgo eléctrico en minería subterránea depende en gran medida de las competencias técnicas y profesionales del personal involucrado en las diferentes fases de diseño, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos. Cada nivel ocupacional debe contar con una formación formal y específica que garantice el cumplimiento de los estándares técnicos y normativos aplicables, como el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), el Decreto 1886 de 2015, el Decreto 944 de 2022 y actos administrativos del Consejo Nacional de Técnicos Electricista (CONTE, 2025a).

El reconocimiento y la certificación de competencias no solo aseguran la idoneidad técnica, sino que también fortalecen la responsabilidad individual y colectiva para la prevención de accidentes eléctricos. En este sentido, los requisitos y las competencias cambian de acuerdo con el tipo de formación.

- *Ingenieros electricistas o electromecánicos:* son responsables del diseño, la supervisión y la aprobación de instalaciones eléctricas; deben contar con matrícula profesional vigente.
- *Tecnólogos y técnicos electricistas:* se encargan de ejecutar el montaje, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento de instalaciones eléctricas. Estos deben contar con matrícula profesional expedida por el Consejo Profesional Nacional de Tecnólogos en Electricidad, Electromecánica, Electrónica y Afines (CONALTEL) o por el CONTE.
- *Supervisores de seguridad y salud en el trabajo:* deben tener formación en SG-SST, con conocimientos básicos en riesgo eléctrico, ya que serán responsables de integrar el riesgo eléctrico en el SG-SST de la mina.
- *Personal operativo y ayudantes:* no deben intervenir en instalaciones eléctricas, pero deben estar entrenados para reconocer señales de riesgo eléctrico y reportarlas.

3.7.5.2. Objetivos de la capacitación y el entrenamiento

1. Garantizar que todo el personal conozca los riesgos eléctricos y conozca cómo controlarlos.
2. Permitir que los ingenieros, tecnólogos y técnicos cuenten con la actualización permanente en normatividad y tecnologías.
3. Fortalecer la cultura del autocuidado en toda la organización.

3.7.5.3. Contenidos mínimos de formación

Se deberían abordar por lo menos los siguientes aspectos:

1. Fundamentos de electricidad aplicada a minería subterránea.
2. Riesgos eléctricos: contacto directo, indirecto, arco eléctrico e incendios.
3. Normatividad: decretos 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2015b) y 944 de 2022 (Colombia, Presidencia de la República, 2022b), RETIE, RETILAP, National Fire Protection Association (NFPA) 70E (NFPA, 2024a).
4. Procedimientos seguros: Lockout-Tagout (LOTO), trabajos con tensión y trabajos en atmósferas explosivas.
5. Uso de EPP eléctricos: guantes, cascos, ropa ignífuga y pantallas faciales.
6. Primeros auxilios en electrocución y quemaduras eléctricas.
7. Protocolos de emergencia y evacuación eléctrica.
8. Prevención y respuesta ante emergencias eléctricas.
9. Investigación de accidentes e incidentes eléctricos.

3.7.5.4. Metodologías de formación

- Teórica presencial o virtual: charlas, cursos o talleres.
- Práctica en campo: simulación de procedimientos LOTO, uso de EPP y rescate de víctima por electrocución.
- Simulacros de emergencia eléctrica: coordinación con brigadas de rescate.

3.7.5.5. Frecuencia y seguimiento de capacitación y entrenamiento

- Inducción inicial: para todo trabajador nuevo.
- Anuales: obligatorios para ingenieros, tecnólogos, técnicos y supervisores.
- Charlas mensuales de seguridad eléctrica: dirigidas al personal operativo.
- Capacitación extraordinaria: tras la ocurrencia de un accidente o por el cambio en normatividad.

3.7.5.6. Evaluación de competencias

- Pruebas teóricas: exámenes de normatividad y fundamentos eléctricos.
- Pruebas prácticas: ejecución de procedimientos seguros supervisados.
- Certificación interna: entrega de constancias de aprobación.
- Seguimiento: auditorías internas y observación en campo.

Un ejemplo de evaluación de competencias, antes de autorizar a un técnico para trabajos con tensión, sería que este deba aprobar la prueba práctica de uso de EPP y de herramientas aisladas.

En síntesis:

1. La capacitación es una herramienta preventiva frente al riesgo.
2. Las competencias deben estar alineadas con la normatividad y certificadas por autoridades competentes (CONTE, Consejo Profesional Nacional de Ingeniería —COPNIA—, CONALTEL).
3. La formación debe ser práctica y aplicada, priorizando procedimientos críticos como trabajos sin tensión o con tensión.

3.8. Elementos de protección personal y de apoyo para trabajos eléctricos

Los EPP funcionan como el último tipo de control aplicado en jerarquía para la protección del trabajador. Estos no previenen la ocurrencia de un accidente, pero reducen el daño potencial sufrido por la persona que se vea afectada por la materialización del riesgo.

En relación con el riesgo eléctrico, cabe destacar los siguientes EPP: la protección facial y craneal, el vestuario, los guantes para trabajos eléctricos con y sin tensión, las botas dieléctricas y otros elementos de apoyo.

3.8.1. Protección facial y craneal

Estos EPP protegen partes del cuerpo sensibles, como ojos, nariz, boca y toda la zona craneoencefálica. Consta de casco, careta y balaclava.

3.8.1.1. Casco dieléctrico

Se debe utilizar en actividades eléctricas o cerca de líneas energizadas. En minería subterránea, este debe contar con portalámpara (véase Figura 66). Son de dos clases:

- Clase E: se prueban hasta 20 000 V.
- Clase G: se prueban hasta 2200 V.



Figura 66. Casco dieléctrico para minería
Fuente: archivo de fotografías de la ANM y la Universidad Nacional de Colombia.

Se recomienda siempre usar los cascos clase E, porque el personal técnico se encontraría protegido en intervenciones de baja tensión y en media tensión hasta 20 000 V. En caso de utilizar cascos clase G, debe cambiar de casco cuando realice intervenciones en niveles de tensión por encima de 2200 V.

La información técnica y de las clases se encuentra en alto relieve en la visera del casco (véase Figura 67).

No existe un tiempo específico para el cambio de los cascos, pero se recomienda hacer inspecciones periódicas, con el fin de identificar cómo se encuentra y, en caso de requerirse, proceder con su reemplazo.

El casco también debe ser utilizado por personal no electricista cuando haya que efectuar intervenciones cerca de equipos energizados.



Figura 67. Señalización de visera en un casco
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

3.8.1.2. Careta facial y balaclava

La careta está diseñada para proteger los ojos y la cara contra los riesgos mecánicos y térmicos cuando se llevan a cabo actividades con riesgo de arco eléctrico o cortocircuito. (explosión con altas temperaturas). Debe resguardar la frente, las orejas y el cuello (véase Figura 68).



Figura 68. Careta de protección facial y balaclava o pasamontañas
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Asímismo, debe ser seleccionada de acuerdo con la energía incidente (cal/cm²) del equipo, el gabinete, el tablero o la celda que se ha de intervenir.

El valor de *energía incidente* se puede evidenciar en la etiqueta del estudio de arco eléctrico, que se ubica en la parte frontal del tablero o celda a intervenir. Es decir, si la energía incidente del tablero es de 3 cal/cm², entonces el valor de la protección de la careta facial y de la balaclava debe estar por encima de ese valor. La información del valor de las cal/cm² debe ser visible en la careta, la balaclava y el traje.

Es importante resaltar que todo lo relacionado con lo ignífugo se selecciona de acuerdo con la energía incidente, y lo dieléctrico, con el nivel de tensión de la instalación.

3.8.2. Vestuario

Es el conjunto de elementos que protegen el mayor porcentaje del cuerpo (torso, brazos, espalda y piernas) contra quemaduras y descargas. Existen dos tipos de vestuario: el de algodón y el vestuario ignífugo.

3.8.2.1. Vestuario en algodón

El uniforme debe estar confeccionado con al menos el 80 % de algodón, ya que este material ofrece mejor resistencia al calor y es menos inflamable en comparación con telas sintéticas. En caso de un accidente eléctrico, el algodón se incendia, pero tiene la propiedad de no adherirse a la piel, lo cual permite una potencial recuperación más rápida. En este sentido, siempre se debe utilizar este tipo de vestuario, aun cuando se estén realizando actividades sin tensión.

El uniforme no debe incluir cierres, botones o correas metálicas, para evitar el riesgo de conductividad eléctrica o quemaduras en caso de exposición a arcos eléctricos (incremento de la temperatura). Si se utiliza camisa en el interior del uniforme, se recomienda que también sea de algodón, para evitar quemaduras más complejas.

Estas recomendaciones buscan proteger al personal frente a posibles riesgos eléctricos, cumplir con las normativas de seguridad y garantizar un entorno de trabajo seguro.

3.8.2.2. Vestuario ignífugo

Cuando se lleven a cabo actividades con tensión (dependiendo de la energía incidente), el personal debe cambiar el vestuario de algodón y colocarse la ropa ignífuga (véase Figura 69), la cual tiene la propiedad de retardar el encendido cuando se presente un arco eléctrico. En algunas ocasiones, las empresas suministran el vestuario ignífugo como dotación.



Figura 69. Vestuario ignífugo
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

El vestuario ignífugo debe ser seleccionado de acuerdo con la energía incidente (cal/cm²) del equipo, el gabinete, el tablero o la celda a intervenir. Aplican las mismas condiciones para seleccionar la careta de protección facial y la balaclava.

Se debe usar protección ignífuga (protección facial, balaclava y vestuario) cuando se realiza una actividad eléctrica con tensión con una energía incidente por encima de 1,2 cal/cm²), como puede ser:

- Diagnóstico de fallas eléctricas en tableros energizados. En algunas ocasiones, para detectar las fallas se requiere hacer mediciones de corriente y tensión en barrajes energizados expuestos, con riesgo de arco eléctrico.
- Reemplazo de interruptores automáticos, contactores, tomacorrientes, entre otros, en circuitos energizados. Normalmente, este tipo de intervenciones se efectúa sin tensión, pero en algunas situaciones se debe realizar con tensión, por temas de continuidad del servicio, como hospitales, sistema de ventilación en túneles, producción; entre otros.
- Apertura y cierre de interruptores automáticos cuando el tablero no cuente con frente muerto.
- Apertura de tableros para proceder a termografías eléctricas. En ocasiones tiene más riesgo la persona que abre el tablero energizado que el mismo termógrafo.
- Instalación de analizadores de redes con tensión.

La ropa ignífuga requiere un tratamiento especial, el cual debe ser informado por el proveedor, para conservar mejor la prenda.

3.8.3. Guantes para trabajos eléctricos con y sin tensión

Las manos suelen ser la parte del cuerpo que más se expone a un riesgo de contacto directo o indirecto, pues se utilizan para la manipulación de herramientas y equipo de trabajo. En este sentido, dependiendo del tipo de trabajo a realizar, se debe seleccionar el tipo de guante a usar: dieléctrico o no dieléctrico.

3.8.3.1. Guantes dieléctricos

Los guantes dieléctricos son utilizados para proteger al operario de circulaciones de corriente y se seleccionan dependiendo del nivel de tensión de la instalación (220 V, 440 V, 13 200 V, entre otros).

Normalmente, viene en un kit de tres guantes: guantín, guante de látex dieléctrico y sobreguante o protección mecánica (véase Figura 70).



Figura 70. Kit de guantes para trabajos con tensión
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

El guantín (véase Figura 71) se utiliza para contener el sudor de la mano y para facilitar el ingreso del guante de látex o la goma dieléctrica. Se deben lavar periódicamente. Este no es dieléctrico.



Figura 71. Guantín
Fuente: generada con la IA ChatGPT (OpenAI, 2025).

El guante de látex (véase Figura 72) (o, en algunos casos, de goma) es el elemento dieléctrico dentro del kit. Debe ser inspeccionado (inflarlo) siempre que se emprenda alguna actividad eléctrica con tensión, para garantizar que no tenga porosidades que afecten su aislamiento.



Figura 72. Guante de látex
Fuente: generada con la IA ChatGPT (OpenAI, 2025).

La normatividad actual exige pruebas para el guante dieléctrico cada 6 meses en laboratorios acreditados por el Organismo Nacional de Acreditación, para garantizar sus propiedades dieléctricas (Colombia, MME, 2024a, p. 58, Libro 3).

El guante dieléctrico viene clasificado, dependiendo del nivel de tensión de la instalación eléctrica, como se muestra en la Tabla 10. Por ejemplo, si la persona realiza una intervención en un tablero de 220 V, debe utilizar guantes clase 00 (500 V); si luego debe hacer un trabajo con 13 200 V, debe retirarse los guantes clase 00 y utilizar guantes clase 2 (13 200 V).

Tabla 10. Clase de guantes de acuerdo con el nivel de tensión

Clase	Nivel de tensión (V) (corriente alterna)
Clase 00	500
Clase 0	1000
Clase 1	7500
Clase 2	17 000
Clase 3	26 500
Clase 4	36 000

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, para una mejor maniobrabilidad, los guantes deben seleccionarse por tallas. Con un metro se mide la circunferencia de la mano (véase Figura 73) y, de acuerdo con el valor (en cm), se procede a seleccionar la talla. Por ejemplo, para una medida de 18 cm alrededor de la mano, la talla del guante es 8; para 21 cm, la talla es 9; y para 24 cm, la talla es 10. No obstante, se recomienda observar y utilizar siempre la tabla de tallas propia de cada proveedor.



Figura 73. Medición de circunferencia de la mano
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

A su vez, los sobreguantes (véase Figura 74) se utilizan como protección mecánica del guante de látex o goma dieléctrico, para evitar perforaciones que permitan la circulación de corriente. Es importante tener en cuenta que este guante tampoco es dieléctrico.



Figura 74. Sobreguantes
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

En conclusión, se utilizan 3 guantes, uno para el sudor, el segundo como dieléctrico y un tercero para proteger el guante dieléctrico de posibles perforaciones u otro tipo de daño que puedan afectar su protección. En la Figura 75 se muestra un kit de guantes armado.



Figura 75. Kit de trabajo de guante dieléctrico
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

3.8.3.2. Guantes no dieléctricos

Son guantes de nitrilo o de vaqueta (véase Figura 76), que solo se utilizan si el tablero o equipo se encuentra sin tensión y luego de aplicar las cinco reglas de oro. Es importante tener en cuenta que hasta la cuarta regla de oro, el sistema se considera con tensión, es decir, luego de dicha regla se pueden utilizar los guantes no dieléctricos.



Figura 76. Guantes de nitrilo y guantes de vaqueta
Fuente: generada con la IA ChatGPT (OpenAI, 2025).

3.8.4. Botas dieléctricas

Las botas dieléctricas (véase Figura 77) son utilizadas para ofrecer un aislamiento entre la persona y el suelo, con el propósito de crear una gran resistencia que evite posibles circulaciones de corriente por el cuerpo.



Figura 77. Botas de caña
a. baja (aislamiento solo en la suela);
b. alta (aislamiento en toda la bota)
Fuente: generadas con la IA Gemini (Google, 2025).

Las botas deben ser seleccionadas de acuerdo con el nivel de tensión de la instalación y verificar constantemente que no se encuentren perforadas o mojadas.

Existen botas con tres tipos de aislamiento: pueden ser de 30 000 V, 18 000 V o 1000 V. A manera de ejemplo, si la persona ingresa a un cuarto eléctrico de 440 V, puede utilizar botas de 1000 V; pero si luego ingresa a una subestación de 13 200 V, debe utilizar botas de 18 000 V.

Se debe tener en cuenta que las botas no tienen información en su etiqueta del nivel de aislamiento; por esta razón, se debe siempre verificar con la ficha técnica del proveedor. Igualmente, es importante verificar que el personal electricista siempre tenga las botas secas. En caso de que no se cumpla esta condición, no se pueden realizar actividades eléctricas, a menos que utilice botas dieléctricas de caña alta.

3.8.5. Elementos de apoyo

Estos son usados comúnmente en los trabajos eléctricos. Corresponden a un tapete dieléctrico, la puesta a tierra temporal, la pértiga telescópica y varias herramientas dieléctricas, que se describen a continuación.

3.8.5.1. Tapete dieléctrico

Se utiliza para incrementar la resistencia entre la persona que lleva a cabo la actividad y el suelo, para disminuir el riesgo de circulaciones de corriente. Se debe utilizar en conjunto con las botas dieléctricas (véase Figura 78).



Figura 78. Tapete dieléctrico
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

No se recomienda utilizarlo cuando la zona de trabajo presente riesgo de inundación, porque si el tapete se halla sumergido en agua, no se garantiza la protección dieléctrica para el operario.

3.8.5.2. Puesta a tierra temporal

La función de una puesta a tierra temporal (véase Figura 79) es limitar la corriente que puede pasar por el cuerpo humano cuando se energiza de forma inesperada un circuito eléctrico.



Figura 79. Puesta a tierra temporal
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

Se debe seleccionar de acuerdo con el nivel de tensión, porque la capacidad de corriente del cableado cambia. Esta puede ser de:

- *Baja tensión:* 3000 amperios (3 kA).
- *Media tensión:* 8000 amperios (8 kA
- *Alta tensión:* 40 000 amperios (40 kA).

De igual manera, se debe verificar constantemente el estado del cableado interno, observando a través del aislamiento que recubre el cableado (este es traslúcido) que no presente deterioro interno.

3.8.5.3. Pértiga telescópica

Una pértiga es una herramienta dieléctrica esencialmente compuesta por una pieza de forma alargada, normalmente de sección circular en secciones y con terminales (véase Figura 80). Es común utilizarla para trabajos con tensión a distancias.



Figura 80. Pértiga
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

La pértiga telescópica puede ser utilizada para actividades puntuales, como apertura y cierre de circuitos o mediciones, o para la maniobra en operaciones en la línea, por ejemplo, la instalación de transversales.

Las pértigas requieren pruebas dieléctricas anuales, efectuadas en laboratorios acreditados.

3.8.5.4. Herramientas dieléctricas

Se deberán usar herramientas dieléctricas en actividades eléctricas con o sin tensión. Estas deben estar diseñadas y fabricadas para satisfacer las exigencias del uso y del medio ambiente al que están expuestas (véase Figura 81).



Figura 81.
Kit de herramientas dieléctricas de baja tensión
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

La norma de las herramientas dieléctricas aisladas a 1000 V corresponde a la IEC 60900 (IEC, 2018).



4. Gestión de adquisiciones de bienes y servicios

Agencia Nacional de Minería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



La gestión de adquisiciones de bienes y servicios tiene como propósito garantizar que los insumos y servicios para trabajos eléctricos adquiridos, instalados o contratados en la mina cumplan con los requisitos técnicos, de seguridad y de conformidad normativa, de modo que no impacten en la eficacia del control del riesgo eléctrico en las operaciones. Se busca como resultado una operación minera subterránea más segura, donde las adquisiciones de bienes y servicios eléctricos cumplan normas técnicas internacionales, se integren al sistema de gestión de seguridad minera y fortalezcan la trazabilidad y la cultura del control eléctrico.

El alcance de esta gestión aplica a todas las etapas del ciclo de vida de los equipos eléctricos utilizados en zonas clasificadas, incluyendo:

- Adquisición de equipos eléctricos (motores, tableros, cables, luminarias, etc.).
- Contratación de servicios eléctricos (instalación, mantenimiento, pruebas e inspecciones).
- Recepción, almacenamiento y puesta en marcha de equipos.

De esta manera, antes de adquirir bienes o servicios eléctricos, la empresa minera debe verificar que todo proveedor o contratista:

- Está certificado o autorizado para operar en ambientes mineros.
- Posee competencias técnicas verificables (electricista minero certificado, de acuerdo con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas —RETIE— o el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público —RETILAP—, según aplique).
- Presenta referencias técnicas y el cumplimiento normativo (International Electrotechnical Commission —IEC—, Norma Técnica Colombiana —NTC—, ATEX —ATmosphères EXplosibles— e IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmospheres —IECEx—).
- Cumple requisitos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) (entre ellos, matriz de riesgos, procedimientos seguros y elementos de protección personal —EPP—).

4.1. Requisitos generales para la gestión de adquisiciones

En una adecuada gestión de adquisiciones deberían tenerse en cuenta lo siguientes aspectos: las especificaciones técnicas de compra, el control documental en adquisiciones, la recepción técnica y la verificación de conformidad, y el control de contratistas eléctricos. A continuación se describe cada uno de estos requisitos.

4.1.1. Especificaciones técnicas de compra

Todo insumo debe adquirirse conforme a fichas técnicas normalizadas, las cuales deben incluir:

- Nivel de protección IP —índice de protección— e IK —índice cinético— según zona (ej. IP65 para humedad, IK10 para impacto).
- Equipos a prueba de explosión (atmósferas explosivas) (Ex d, Ex e, Ex i, Ex n) (véase el apartado 2.5.3.1).
- Tensión nominal y capacidad de corriente.
- Compatibilidad con las condiciones subterráneas (humedad, polvo o gases).
- Certificación de conformidad RETIE / IEC / ATEX.
- Clasificación de áreas para gases inflamables y presencia de polvos combustibles.

4.1.2. Control documental en adquisiciones

Todo proceso de compra debería registrar:

- Solicitud interna de adquisición (con justificación técnica y nivel de riesgo).
- Cotizaciones y análisis comparativo técnico-económico.
- Evaluación de riesgo eléctrico asociado al nuevo equipo.
- Orden de compra aprobada por el área técnica o de mantenimiento eléctrico.

4.1.3. Recepción técnica y verificación de conformidad

Al recibir un equipo o dispositivo se debería:

- Verificar que las etiquetas, los números de serie y los certificados correspondan a lo solicitado.
- Comprobar el estado físico, las conexiones, las protecciones y el aislamiento.
- Hay que asegurar que los manuales técnicos estén disponibles y en idioma español.
- Realizar una inspección visual y funcional antes de la instalación.

4.1.4. Control de contratistas eléctricos

Cuando se contraten servicios para trabajos eléctricos con externos es fundamental:

- Validar el perfil de competencias del personal (técnico o profesional).
- Documentar los riesgos y controles específicos (gasificación, ventilación o energía almacenada).
- Supervisar las actividades críticas y reflejar el control a través de permisos para trabajo eléctrico y reportes de supervisión técnica.

4.2. Roles y responsabilidades

La gestión de adquisiciones en trabajos eléctricos requiere una clara definición de roles y responsabilidades entre las diferentes áreas involucradas, con el fin de asegurar que cada etapa del proceso, desde la especificación técnica hasta la instalación final, se realice conforme a los estándares de seguridad y calidad exigidos.

En esto se debe enfatizar que, para garantizar un adecuado abastecimiento de servicios y bienes para trabajos eléctricos, este debe sostenerse en la misma transversalidad (involucrar todas las áreas pertinentes, especialmente los responsables de ordenar y supervisar los trabajos eléctricos) que sustenta el funcionamiento de todo el SG-SST.

En la Tabla 11 se proponen algunas funciones principales de las dependencias y los cargos clave en la adquisición de bienes y servicios eléctricos dentro de una operación minera, con lo que se apunta a garantizar la trazabilidad, la conformidad técnica y la alineación con el SG-SST.

Tabla 11. Responsabilidades en la adquisición de bienes y servicios eléctricos

Cargo o dependencia	Responsabilidad
Jefe de mantenimiento eléctrico	Aprobar fichas técnicas y verificar la conformidad de los equipos
Coordinador del SG-SST	Incluir la gestión de adquisiciones dentro de la matriz de peligros eléctricos
Área de Compras	Garantizar que los proveedores estén evaluados y aprobados
Supervisor de mina	Autorizar la instalación y supervisar el cumplimiento de las normas eléctricas
Gerencia	Asegurar el presupuesto para adquisiciones seguras y certificadas

SG-SST: Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).



5. Monitoreos, auditorías e indicadores de gestión

La gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea no se limita a diseñar controles y procedimientos; es necesario también verificar su efectividad de forma continua. En un entorno de alto riesgo como el minero, la ausencia de seguimiento puede permitir que pequeños fallos eléctricos se conviertan en accidentes graves o mortales, e incluso en catástrofes mayores que pueden comprometer la integridad de la operación.

Los *monitoreos* permiten detectar fallas o desviaciones a tiempo; la realización de *auditorías*, por su parte, verifican el cumplimiento de las normas tanto nacionales como internacionales (véase capítulo 1 de esta guía), mientras que los *indicadores* permiten medir la eficacia de la gestión y establecer planes de mejora.

5.1. Estrategias para monitoreos en minería subterránea

Una gestión eficaz del riesgo eléctrico requiere la implementación de estrategias que garanticen la detección temprana de fallas y la intervención oportuna. En la minería subterránea, donde las condiciones operativas pueden cambiar rápidamente, los monitoreos permanentes del estado de las instalaciones eléctricas son esenciales para mantener la continuidad del servicio y prevenir accidentes.

A continuación se presentan las principales estrategias de monitoreos aplicables al entorno minero, que combinan inspecciones periódicas, supervisión en tiempo real y técnicas predictivas basadas en tecnología avanzada.

5.1.1. Inspecciones rutinarias

Estas deben ser:

- Diarias: inspección visual de cables, tableros y lámparas.
- Semanales: verificación de protecciones y estado de señalización.
- Mensuales: revisión de puesta a tierra y pruebas diferenciales.

Este tipo de inspecciones deben apoyarse con una lista de verificación de inspecciones eléctricas rutinarias.

5.1.2. Monitoreos en tiempo real

Implica el uso de:

- Sistemas de control supervisor y adquisición de datos (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA): control de tensión, corriente y fallas.
- Sensores IoT: medición continua de temperatura en tableros y motores.
- Alarmas automáticas: por fuga de corriente, sobrecarga o acumulación de metano.

5.1.3. Monitoreos predictivos

Para ello, debe efectuarse:

- Una termografía infrarroja: detección de puntos calientes.
- El análisis de vibraciones en motores eléctricos.
- Las pruebas de resistencia de aislamiento en cables y transformadores.

5.2. Auditorías del riesgo eléctrico

La auditoría del riesgo eléctrico constituye una herramienta fundamental dentro del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), ya que permite evaluar, de manera objetiva, el cumplimiento de los requisitos normativos y la efectividad de los controles implementados. A través de este proceso se identifican brechas, deficiencias o desviaciones que pueden comprometer la seguridad operativa, lo que permite obtener información valiosa para la toma de decisiones y la mejora continua.

Las auditorías, tanto internas como externas, fortalecen la cultura de la prevención, al asegurar que las prácticas de trabajo eléctrico sean seguras, verificables y sostenibles en el tiempo.

5.2.1. Tipos de auditorías

- Internas: realizadas por el área de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) o el Departamento Eléctrico de la empresa.
- Externas: ejecutadas por entes reguladores como la Agencia Nacional de Minería (ANM), el Ministerio del Trabajo o auditores acreditados.

5.2.2. Elementos de las auditorías

1. Revisión documental: Programa de Mantenimiento Eléctrico, registros de capacitaciones y permisos para trabajos Lockout-Tagout (LOTO).
2. Inspección en campo: verificación de equipos Ex, estado de protecciones y señalización.
3. Entrevistas: evaluación del conocimiento práctico de trabajadores y brigadas.
4. Pruebas técnicas: mediciones de aislamiento, continuidad y calibración de protecciones.

5.2.3. Frecuencia de auditorías

- Auditorías internas: mínimo cada 6 meses.
- Auditorías externas: al menos una vez al año, o según exigencia normativa.

5.3. Indicadores de gestión del riesgo eléctrico

Los indicadores permiten medir y mejorar el desempeño del programa eléctrico en minería. Son herramientas esenciales para medir la eficacia y la madurez del sistema de control implementado en una operación minera. Mediante su análisis, la organización puede evaluar si las acciones preventivas, correctivas y de capacitación están logrando un impacto en la reducción de la probabilidad de fallas eléctricas y accidentes. Además, permiten identificar tendencias, priorizar recursos y sustentar decisiones basadas en la evidencia.

Los indicadores no solo reflejan el cumplimiento de los programas de mantenimiento y formación, sino también la capacidad de respuesta ante emergencias, convirtiéndose en un elemento clave para la mejora continua y la sostenibilidad del sistema de gestión en ambientes eléctricos de alta criticidad.

Existen tres tipos de indicadores para tomar en cuenta: indicadores de cumplimiento, de accidentalidad y de respuesta.

5.3.1. Indicadores de cumplimiento

- Porcentaje de equipos eléctricos con certificación Ex vigente.
- Porcentaje de trabajadores capacitados en riesgo eléctrico.
- Porcentaje de trabajadores electricistas entrenados en procedimientos LOTO.
- Porcentaje de mantenimientos eléctricos realizados según el programa.

5.3.2. Indicadores de accidentalidad

- Número de accidentes eléctricos por año.
- Tasa de frecuencia de accidentes eléctricos (por millón de horas/hombre).
- Porcentaje de accidentes eléctricos frente al total de emergencias en mina.

5.3.3. Indicadores de respuesta

- Tiempo promedio de reacción ante emergencias eléctricas.
- Porcentaje de simulacros eléctricos llevados a cabo según programación.
- Porcentaje de participación del personal en simulacros.

En la Tabla 12 se describen los anteriores indicadores según su tipo.

Tabla 12. Indicadores según su tipo

Tipo	Nombre del indicador	Descripción	Fórmula de cálculo	Unidad de medida	Fuente de datos	Frecuencia de medición
Cumplimiento	Porcentaje de equipos eléctricos con certificación Ex vigente	Mide el grado de cumplimiento en la certificación de equipos eléctricos en zonas clasificadas	(Número de equipos con certificación vigente / Total de equipos eléctricos Ex) × 100	%	Registros de inspección y certificados RETIE o IECEx	Trimestral
	Porcentaje de trabajadores capacitados en riesgo eléctrico y entrenados en procedimientos LOTO	Evalúa el grado de cobertura de la capacitación obligatoria del personal expuesto al riesgo eléctrico	(Número de trabajadores capacitados / Total de trabajadores expuestos) × 100	%	Registros de capacitación y listas de asistencia	Semestral
	Porcentaje de trabajadores electricistas entrenados en procedimientos LOTO	Evalúa el grado de cobertura en el entrenamiento obligatorio del personal que realiza trabajos eléctricos	(Número de trabajadores electricistas entrenados / Total de trabajadores electricistas) × 100	%	Registros de entrenamiento y aprobación de pruebas teóricas y prácticas	Semestral
	Porcentaje de mantenimientos eléctricos realizados según el Programa de Mantenimiento Eléctrico	Determina el nivel de cumplimiento del Plan de Mantenimiento Preventivo	(Número de mantenimientos ejecutados / Número de mantenimientos programados) × 100	%	CMMS o bitácoras de mantenimiento	Mensual

Tipo	Nombre del indicador	Descripción	Fórmula de cálculo	Unidad de medida	Fuente de datos	Frecuencia de medición
Accidentalidad	Número de accidentes eléctricos por año	Cuantifica los accidentes eléctricos ocurridos en el periodo anual	Conteo directo	Número	Reportes de incidentes y base de datos del área de SST	Anual
	Tasa de frecuencia de incidentes eléctricos	Permite medir la frecuencia relativa de incidentes eléctricos respecto a las horas/hombre trabajadas	(Número de incidentes eléctricos × 1 000 000) / Total de horas/hombre trabajadas	Tasa por millón	Registros de horas/hombre y reportes de incidentes	Anual
	Porcentaje de incidentes eléctricos frente al total de emergencias en mina	Evalúa la proporción de emergencias relacionadas con la energía eléctrica	(Número de emergencias eléctricas / Total de emergencias) × 100	%	Bitácoras de emergencias e informes de brigada	Trimestral
Respuesta	Tiempo promedio de reacción ante emergencias eléctricas	Mide la capacidad de respuesta de la brigada ante eventos eléctricos	Sumatoria del tiempo de respuesta de cada evento / Número total de eventos	Minutos	Reportes de simulacros y emergencias	Trimestral
	Porcentaje de simulacros eléctricos realizados según programación	Verifica el cumplimiento del simulacros programados para eventos eléctricos	(Número de simulacros realizados / Número de simulacros programados) × 100	%	Plan Anual de Emergencias y reportes de simulacro	Semestral
	Porcentaje de participación del personal en simulacros eléctricos	Indica el grado de involucramiento del personal en la preparación para emergencias eléctricas	(Número de trabajadores participantes / Total de trabajadores convocados) × 100	%	Listas de asistencia e informes de simulacro	Semestral

CMMS: Computerized Maintenance Management System (Sistema computarizado de gestión del mantenimiento); IECEx: IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmospheres; LOTO: Lockout-Tagout; RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas; SST: Seguridad y salud en el trabajo.

Fuente: elaboración propia.

Es importante tener presente que en la verificación del control al riesgo eléctrico no solo interviene el área de mantenimiento, sino que en el funcionamiento del SG-SST, por ejemplo, en los aspectos que involucran el Plan de Emergencias, aquella debe articularse con el responsable del sistema de gestión y las personas que se involucren en su manejo para aspectos como la programación, realización y evaluación de simulacros de eventos eléctricos.

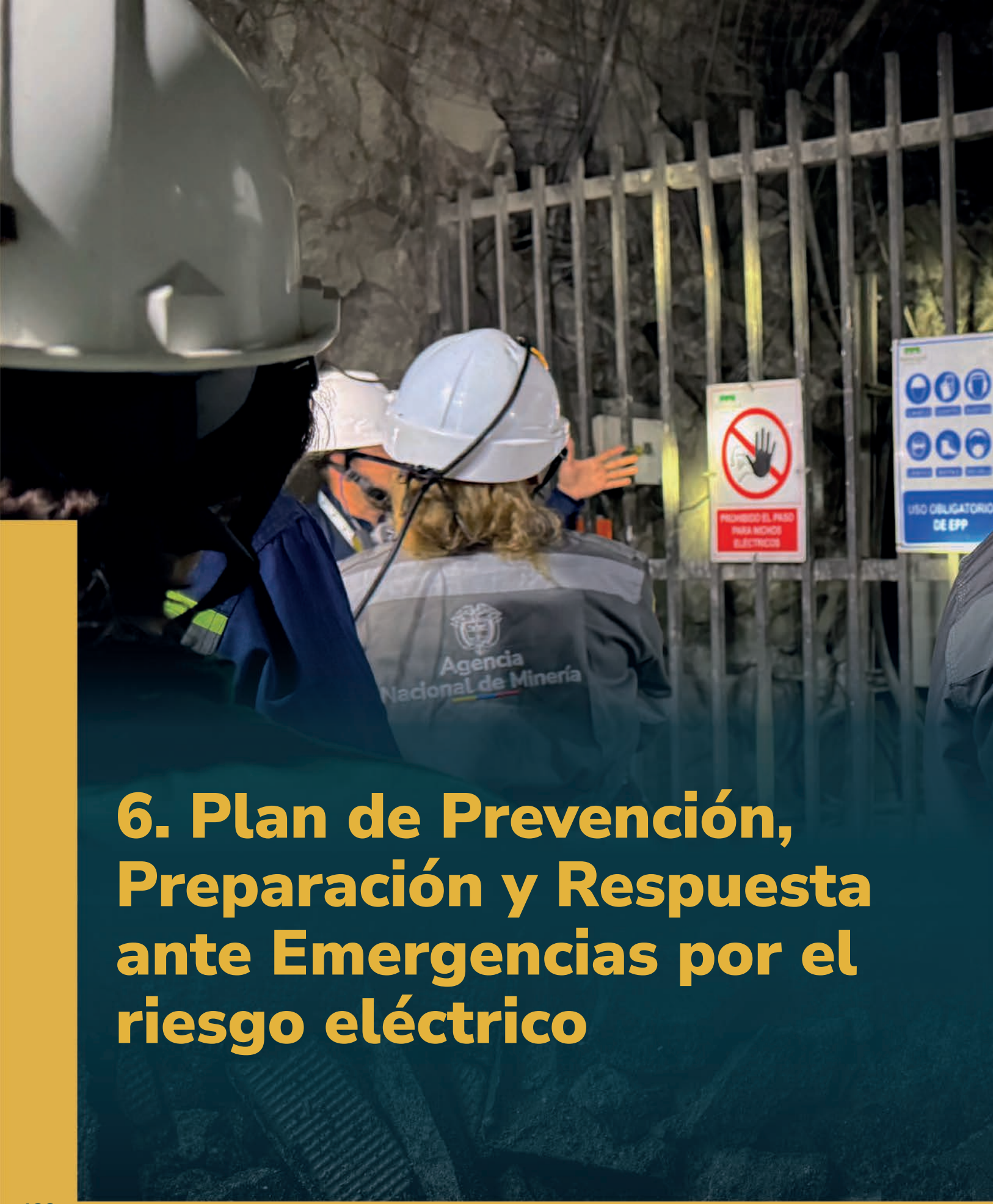
5.4. Reportes y comunicación de resultados recomendados

Aunque la normativa minera no exige un formato específico de reporte para la gestión del riesgo eléctrico, se recomienda establecer mecanismos de comunicación interna y externa que permitan difundir los resultados de monitoreo, auditoría e indicadores.

Estos reportes no deben verse como una obligación formal, sino como una buena práctica que fortalece la transparencia, la mejora continua y la toma de decisiones informadas.

Entre los reportes y medios de comunicación sugeridos se encuentran:

- *Informes mensuales internos:* dirigidos a la gerencia y los jefes de mina, con el fin de mantener una visión actualizada del estado eléctrico y de los avances del programa.
- *Reportes para visitas de fiscalización programadas por la ANM:* donde se evidencie el cumplimiento de la normatividad aplicable y la trazabilidad de las acciones preventivas y correctivas.
- *Tableros visuales en mina:* que presenten los principales indicadores de desempeño eléctrico de manera accesible a los trabajadores, fomentando la cultura del autocuidado y la vigilancia compartida.
- *Reuniones de retroalimentación:* espacios de análisis donde se revisen tendencias de indicadores, desviaciones de las metas y se definan medidas de mejora o refuerzo de los controles eléctricos.



6. Plan de Prevención, Preparación y Respuesta ante Emergencias por el riesgo eléctrico



El riesgo eléctrico en minería subterránea puede derivar en accidentes de trabajo, como electrocuciones, amputaciones, o incluso en la muerte. De igual manera, una falla eléctrica, por ejemplo, los arcos eléctricos, puede ocasionar emergencias de alta severidad en la mina (incendios o explosiones) y comprometer sistemas vitales de esta, como ventilación, bombeo, transporte o comunicaciones, que también puede poner en riesgo al personal presente en las labores subterráneas. En este sentido, la reacción oportuna de las brigadas de emergencias y trabajadores es clave para salvar vidas.

Los decretos 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2015b) y 944 de 2022 (Colombia, Presidencia de la República, 2022b) exigen que toda mina cuente con un plan de prevención y respuesta ante emergencias (referido en adelante de manera abreviada como Plan de Emergencias), en el que debe incluirse la gestión de incidentes eléctricos.

El Plan de Emergencias es un conjunto de estrategias y disposiciones con el que debe contar toda empresa, con el fin de disminuir el grado de riesgo ante emergencias en todos sus centros de trabajo. En este sentido, según los establece el artículo 2.2.4.6.25 del Decreto 1072 de 2015, su construcción debe incluir:

> [...] 1. Identificar sistemáticamente todas las amenazas que puedan afectar a la empresa;
> 2. Identificar los recursos disponibles, incluyendo las medidas de prevención y control existentes al interior de la empresa [...] así como las capacidades existentes en las redes institucionales y de ayuda mutua;
> 3. Analizar la vulnerabilidad de la empresa frente a las amenazas identificadas [...];
> 4. Valorar y evaluar los riesgos [...];
> 5. Diseñar e implementar los procedimientos para prevenir y controlar las amenazas priorizadas o minimizar el impacto de las no prioritarias;
> 6. Formular el plan de emergencia [...];
> 7. Asignar los recursos necesarios para diseñar e implementar los programas, procedimientos o acciones necesarias [...];
> 8. Implementar las acciones factibles, para reducir la vulnerabilidad de la empresa frente a estas amenazas [...];
> 9. Informar, capacitar y entrenar incluyendo a todos los trabajadores, para que estén en capacidad de actuar y proteger su salud e integridad, ante una emergencia real o potencial;
> 10. Realizar simulacros como mínimo una (1) vez al año con la participación de todos los trabajadores;
> 11. Conformar, capacitar, entrenar y dotar la brigada de emergencias, acorde con su nivel de riesgo y los recursos disponibles [...];
> 12. Inspeccionar con la periodicidad que sea definida en el SG-SST [Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo], todos los equipos relacionados con la prevención y atención de emergencias [...]; y
> 13. Desarrollar programas o planes de ayuda mutua ante amenazas de interés común [...] articulándose con los planes que [...] puedan existir en la zona donde se ubica la empresa. (Colombia, Presidencia de la República, 2015a)

En este capítulo se exponen algunas de las metodologías usadas para identificación de amenazas y el análisis de vulnerabilidades, así como varios aspectos relevantes en la inclusión del riesgo eléctrico dentro de la construcción de los planes de emergencia, como son: algunos escenarios de emergencia eléctrica, la propuesta base de protocolos para respuesta, los simulacros de emergencias eléctricas y procedimientos de primeros auxilios ante la ocurrencia de este tipo de eventos.

6.1. Metodologías de identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidades

Para el ejercicio de identificación de amenazas y el análisis de vulnerabilidad derivado de estas se pueden usar diversas metodologías:

- *El diamante de riesgos (colores):* es una metodología cualitativa que permite identificar amenazas, evaluar vulnerabilidades y determinar el nivel de riesgo. El análisis de la vulnerabilidad abarca a las personas, los recursos y los sistemas o procesos. Estos cuatro elementos (las amenazas y las tres vulnerabilidades) se representan en un "diamante" y se valoran con códigos de color según probabilidad e impacto, lo que facilita priorizar riesgos y definir acciones de prevención, mitigación y respuesta dentro del SG-SST (Agencia Nacional de Minería —ANM—, 2024, pp. 265-271).

- *El análisis de peligros y de operabilidad (Hazard and Operability Study):* es una metodología que analiza procesos mediante el uso de palabras guía (como “más”, “menos”, “no”, “parte de”), para identificar desviaciones respecto a las condiciones normales de operación. Su objetivo es detectar peligros potenciales y problemas de operabilidad, evaluando causas y consecuencias, lo que la hace muy útil en entornos industriales complejos como la minería (Nolan, 2015).
- *What if:* es una técnica cualitativa basada en la formulación de preguntas del tipo “¿qué pasaría si...?”. Se utiliza para explorar escenarios hipotéticos de fallo o eventos no deseados, promoviendo la identificación de peligros de manera flexible y creativa, especialmente en etapas tempranas o cuando se requiere una evaluación rápida (Nolan, 2015).
- *Análisis de modos de falla y efectos:* es una metodología que identifica posibles modos de falla en sistemas, equipos o procesos, evaluando sus efectos y priorizando los riesgos en función de su severidad, ocurrencia y detectabilidad. Permite establecer acciones preventivas para reducir la probabilidad de fallos y mitigar sus consecuencias. Es ampliamente utilizada en gestión de mantenimiento y confiabilidad (Stamatis, 2003).

6.2. Escenarios de emergencia eléctrica en minería subterránea

El Plan de Emergencias articula el riesgo eléctrico con otros tipos de riesgos, como son:



Geomecánicos: posibles colapsos tras incendios eléctricos.



Atmósferas irrespirables o explosivas: acumulación de gases por falla eléctrica en el sistema de ventilación.



Explosiones: riesgo de ignición por falla eléctrica en instalaciones dentro de áreas clasificadas.



Transporte: riesgo por evacuación tardía de trabajadores debido a falla en los sistemas de transporte por ausencia de fluido eléctrico.

A continuación se listan varios de los escenarios que usualmente se presentan relacionados con el riesgo eléctrico en operaciones mineras subterráneas y las razones más comunes que llevan a su manifestación.

1. *Electrocución de un trabajador.* Puede deberse a:
   - Contacto directo con cable energizado.
   - Contacto indirecto con carcasa metálica energizada.

2. *Arco eléctrico en tableros o transformadores.* Cortocircuito que genera onda de presión, fuego y proyección de material fundido (véase Figura 82).



Figura 82. Arco eléctrico en tablero
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

3. *Incendio eléctrico en galerías.* Puede ocurrir por:
   - Sobrecalentamiento de cables, tableros o motores eléctricos (véase Figura 83).
   - Presencia de polvo combustible (alto riesgo en minas de carbón).

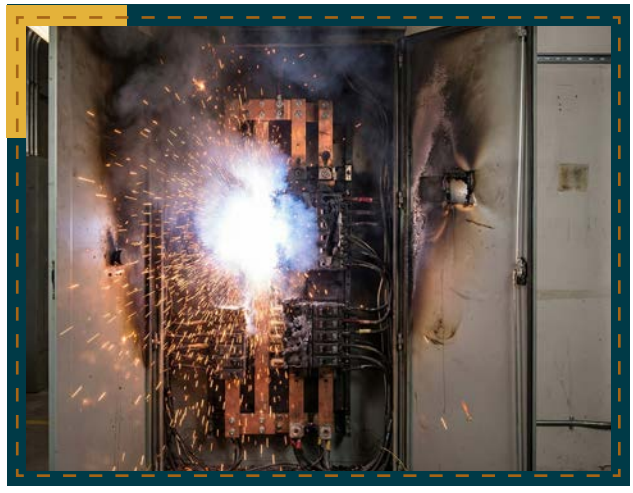


Figura 83. Incendio eléctrico en tablero
Fuente: generada con la IA Gemini (Google, 2025).

4. *Explosión por chispa en atmósfera explosiva.* Encendido de una atmósfera con un contenido de metano o polvo de carbón por encima de su límite inferior de explosividad, iniciado por chispa eléctrica.

5. *Fallas de sistemas críticos por corte eléctrico.* Estas fallas pueden ser:
   - Parada de ventiladores principales, que ocasiona acumulación de gases.
   - Parada de bombas de achique, que produce inundación de galerías.
   - Parada de sistemas de transporte de trabajadores en caso de evacuación.

Ante estos escenarios de riesgo eléctrico, el mejor enfoque respecto a las emergencias es la prevención y la preparación adecuada, mediante:

- *Diseño seguro:* equipos certificados Ex para áreas clasificadas, protecciones diferenciales y puestas a tierra.
- *Mantenimiento periódico:* reducción de fallas por deterioro.
- *Procedimientos seguros:* aplicación de Lockout-Tagout (LOTO) y trabajos sin tensión.
- *Capacitación:* entrenamiento en primeros auxilios eléctricos y uso de elementos de protección personal (EPP).
- *Inspecciones periódicas:* listas de verificación para tableros, cables y motores.

6.3. Respuesta ante emergencias eléctricas

La organización del componente eléctrico dentro del Plan de Emergencias es fundamental para garantizar una actuación rápida, segura y coordinada frente a la presencia de incidentes que involucren riesgo eléctrico. Es fundamental tener definida una estructura de respuesta ante las emergencias, con los roles, las responsabilidades y los recursos necesarios para ejecutar las acciones de control, rescate y atención prehospitalaria dentro de la mina para trabajadores que se hayan visto afectados en una emergencia eléctrica.

Contar con una brigada de emergencias entrenada, equipos adecuados y medios de comunicación efectivos permite minimizar el impacto de las emergencias, proteger la vida de los trabajadores y asegurar la continuidad operativa bajo condiciones controladas, así como proteger la infraestructura. A continuación se enuncian los roles de la brigada de emergencias y los recursos mínimos requeridos.

6.3.1. Brigada de emergencias ante eventos eléctricos



- *Coordinador de emergencia eléctrica:* ingeniero electricista o jefe de mantenimiento.



- *Brigadistas entrenados en rescate eléctrico:* mínimo 2 por turno.



- *Personal de apoyo:* supervisores de seguridad y brigada general de mina.

6.3.2. Recursos mínimos requeridos

- Extintores de CO_2 para incendios eléctricos.
- Kits de rescate eléctrico: pértiga aislada, guantes y manta ignífuga.
- Desfibrilador externo automático (DEA): disponible en superficie y preferiblemente en áreas cercanas al acceso de mina.
- Botiquines de emergencia: con elementos para quemaduras eléctricas.

6.4. Protocolos de respuesta por escenario

A continuación se plantea una serie de protocolos de respuesta frente a los distintos escenarios considerados.

6.4.1. Rescate de trabajador electrocutado

1. Asegurar la escena y controlar el fuego (si se presenta) con extintor CO_2.
2. Notificar a sala de control para que se realice corte de energía.
3. Verificar el número de víctimas.
4. No tocar directamente a la víctima, usar pértiga aislada.
5. Retirar a la víctima de la fuente eléctrica.
6. Evaluar signos vitales (respiración y pulso).
7. Activar el sistema de emergencias y coordinar servicio de ambulancia.
8. Iniciar reanimación cardiopulmonar (RCP) y uso del DEA.
9. Trasladar la víctima a superficie.
10. Asegurar y señalizar el área hasta reparación yvalidación de condiciones seguras.





6.4.2. Incendio eléctrico en galería

1. Asegurar la escena y realizar corte de energía.
2. Activar la alarma de emergencia.
3. Activar la brigada de emergencia para que atienda y controle la situación.
4. Evacuar a los trabajadores siguiendo rutas seguras.
5. Notificar a la ANM y a las autoridades locales si el incendio compromete la mina.



6.4.3. Explosión de metano o polvo de carbón generada por chispa

1. Cortar la energía en todos los circuitos de la zona afectada, previa evaluación de condiciones.
2. Suspender inmediatamente todas las actividades.
3. Evacuar siguiendo el protocolo de respuesta ante explosiones, que esté determinado dentro del Plan de Emergencias de la mina.
4. Notificar a la ANM y a las autoridades locales para activar protocolos de salvamento minero.



6.4.4. Corte eléctrico en sistemas críticos

1. Proceder a encender los sistemas de respaldo eléctrico (generadores diésel, Sistema de Alimentación Ininterrumpida —*Uninterruptible Power Supply*—).
2. Si falla el sistema de ventilación, evacuar inmediatamente.
3. Si falla el sistema de bombeo, activar las bombas auxiliares.
4. Si falla el sistema de transporte, evacuar hasta el refugio minero más cercano o siguiendo ruta de evacuación peatonal de ser posible acceder a esta.



6.4.5. Procedimientos operativos normalizados

En la atención de emergencias, los procedimientos operativos normalizados (PON) son documentos técnicos que establecen de forma clara, estandarizada y secuencial las acciones que deben seguir los equipos de respuesta ante un evento específico. Allí se definen los responsables, los recursos, las rutas de actuación y las medidas de seguridad. Su objetivo es garantizar una respuesta rápida, coordinada y segura, reduciendo la improvisación y asegurando la protección de las personas, las instalaciones y la continuidad operativa.

Los PON suele componerse como mínimo de:

- Objetivo y alcance.
- Identificación del escenario de emergencia.
- Roles y responsabilidades del personal.
- Recursos y equipos necesarios.
- Secuencia de acciones paso a paso para la respuesta.
- Medidas de seguridad y control del riesgo.
- Canales de comunicación y coordinación.
- Criterios de cierre y reporte del evento.

Estos elementos garantizan una actuación organizada, segura y estandarizada. Cada PON debe construirse tomando en cuenta el contexto operacional de la mina y la empresa en cuestión.

6.5. Simulacros de emergencias eléctricas

Los simulacros son una herramienta importante para reforzar los protocolos de respuesta y deben realizarse al menos una vez al año.

Las fases de un simulacro son:

- *Planeación de la actividad:* en esta fase se define el escenario del simulacro (por ejemplo, rescate de trabajador electrocutado, incendio en tablero o corte eléctrico en ventilación), los objetivos, el alcance y los roles del personal. Se identifican amenazas y vulnerabilidades, se establecen los procedimientos de respuesta (aislamiento de energía, evacuación, rescate) y se coordinan los recursos, garantizando la coherencia con el plan de emergencias de la operación minera.



- *Ejecución de la actividad:* consiste en la puesta en práctica del simulacro bajo condiciones controladas, activando las alarmas y los protocolos establecidos. El personal ejecuta acciones como corte de energía, evacuación por rutas definidas y atención de lesionados.
- *Evaluación:* se analizan los resultados del simulacro mediante la observación del desempeño, tiempos de respuesta, cumplimiento de procedimientos y uso adecuado de equipos. Se identifican fallas, desviaciones y oportunidades de mejora en la gestión del riesgo eléctrico y la coordinación operativa. Esto permite evaluar la capacidad de respuesta ante eventos eléctricos en un entorno subterráneo.
- *Seguimiento y control:* se implementan acciones correctivas y preventivas derivadas de la evaluación, como ajustes en procedimientos, capacitación del personal o mejoras en infraestructura eléctrica. Además, se hace seguimiento al cumplimiento de estas acciones, con el fin de fortalecer continuamente la preparación y respuesta ante emergencias en la mina.



Dentro de los tipos de simulacros más relevantes en riesgo eléctrico encontramos:



- *Rescate de trabajador electrocutado:* este simulacro evalúa la capacidad de respuesta del personal ante un accidente eléctrico con víctima. Permite practicar la desconexión segura de la fuente de energía, el uso de elementos aislantes, la atención prehospitalaria inmediata y la coordinación con la brigada de emergencias y la evacuación.



- *Incendio eléctrico en tablero:* simula la ocurrencia de un cortocircuito o sobrecarga que genera fuego en un tablero de distribución. Busca reforzar la identificación de la causa, la aplicación de procedimientos de bloqueo y etiquetado, el uso de extintores clase C y la activación del sistema de alarma y la evacuación.



- *Corte eléctrico en ventilador principal:* representa una falla en el suministro que afecta la ventilación subterránea, lo cual puede generar acumulación de gases o déficit de oxígeno. Este ejercicio permite comprobar la eficiencia del protocolos de respuesta, la comunicación entre la superficie y el frente de trabajo, y la activación de medidas de emergencia para mantener condiciones seguras hasta restablecer el sistema.

Cada simulacro debe evaluarse mediante lista de chequeo y debe generar una retroalimentación a las brigadas.

6.6. Primeros auxilios en emergencias eléctricas

Los procedimientos de primeros auxilios requeridos por un trabajador que ha sufrido un accidente o en caso de una emergencia eléctrica, deben ser prestados por una persona con la capacitación adecuada y siguiendo los protocolos de seguridad que eviten nuevos riesgos. En este sentido, deben tenerse presente las medidas mencionadas a continuación:

- *No mover a la víctima hasta asegurarse de que no hay tensión.* Antes de intervenir, se debe cortar la fuente de energía eléctrica y verificar la ausencia de corriente con un equipo de medición apropiado. El rescatista debe mantenerse sobre superficie aislante y evitar el contacto directo con el trabajador hasta confirmar que el área es segura.
- *Evaluar signos vitales y aplicar RCP y DEA si es necesario.* Los accidentes eléctricos pueden causar fibrilación ventricular, paro cardiorrespiratorio o pérdida de la conciencia, debido al paso de corriente. Si la víctima no respira o no tiene pulso, se debe iniciar RCP inmediata. Una vez se tenga el DEA a disposición, se debe encender y esperar la evaluación de la víctima para determinar si se requiere emitir una descarga. Tras esto, se debe seguir con aplicación de RCP e instrucciones del DEA hasta la llegada del personal médico o la reactivación de los signos vitales.
- *Tratar quemaduras eléctricas cubriéndolas con apósitos limpios, sin aplicar pomadas.* Las lesiones por corriente eléctrica suelen generar quemaduras de entrada y salida, que pueden tener daño interno severo, aunque la piel aparente una lesión menor. Es fundamental cubrir las áreas afectadas con apósitos estériles y proteger de la hipotermia.
- *Mantener a la víctima abrigada y trasladarla a un centro médico.* Durante el accidente eléctrico es común que el trabajador presente choque hipovolémico, deshidratación o alteraciones neurológicas debido al daño tisular o al trauma asociado (caídas, golpes). Se debe mantener al paciente inmovilizado, en posición horizontal y protegido del frío, asegurando su traslado inmediato a un centro asistencial para la evaluación médica completa.

En todos los casos, el registro del evento y la notificación al área de Seguridad y Salud en el Trabajo son indispensables para el análisis posterior del accidente, la identificación de las causas y la implementación de medidas correctivas en la instalación eléctrica.

En síntesis:

1. Es fundamental incluir un componente de eventos eléctricos en el Plan de Emergencias, para mitigar consecuencias de incidentes en minas subterráneas.
2. La prevención (equipos certificados, mantenimiento y procedimientos para trabajos eléctricos) reduce significativamente la ocurrencia de emergencias.
3. La respuesta organizada y entrenada de una brigada de emergencia integral puede marcar la diferencia entre un accidente leve y una catástrofe.
4. Los simulacros periódicos garantizan la preparación real del personal, permiten la evaluación del Plan de Emergencias y fortalecen la cultura de la seguridad.



7. Modelo para la investigación y el análisis de accidentes e incidentes de trabajo por riesgo eléctrico

En este capítulo se presentan los fundamentos conceptuales de un modelo aplicable a la investigación y el análisis de accidentes eléctricos, en el que se enuncian el campo de aplicación, los alcances, los fundamentos normativos, las definiciones más importantes y el esquema para su implementación, y se presenta un caso de estudio aplicado.



7.1. Introducción

La investigación y el análisis de los accidentes e incidentes de trabajo que se producen, independientemente de la gravedad de estos, nos permiten conocer situaciones de riesgo real o potencial, e implantar medidas de carácter correctivo e incluso preventivo, ayudándonos a mejorar las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, y aumentando la productividad, la competitividad y la sostenibilidad de las empresas.

El presente modelo para la investigación y el análisis de accidentes e incidentes de trabajo por riesgo eléctrico tiene como propósito fundamental enunciar aquellos aspectos de la investigación y el análisis de accidentes e incidentes de trabajo que consideramos de mayor interés, y que nos han de contribuir a realizar una actuación eficiente durante todo el proceso de investigación y análisis, permitiéndonos posteriormente adoptar medidas preventivas o correctivas que nos ayuden a evitar la repetición de las circunstancias desencadenantes de un accidente o incidente de trabajo.

El modelo se propone como un instrumento de utilidad y referencia para los responsables de participar en la investigación de accidentes e incidentes, incluyendo a los trabajadores protagonistas de estos hechos, como una herramienta útil y práctica en la investigación y en el análisis de accidentes e incidentes relacionados con el trabajo.



7.2. Objetivo del modelo

Presentar aquellos aspectos de la investigación y del análisis de accidentes e incidentes de trabajo que consideramos de mayor interés, y que nos han de contribuir a actuar de manera eficiente durante todo el proceso de investigación y análisis, permitiéndonos posteriormente adoptar acciones preventivas o correctivas que nos ayuden a evitar la repetición de las circunstancias desencadenantes de los accidentes e incidentes de trabajo.



7.3. Alcance del modelo

Determinar las causas que originaron los accidentes e incidentes, para poder implementar acciones correctivas y preventivas que eviten su recurrencia. Se enfoca en el análisis sistemático de los hechos y las evidencias, con el fin de identificar causas inmediatas (actos y condiciones inseguras) y causas básicas (factores personales y de trabajo), para, finalmente, elaborar, ejecutar, hacer seguimiento y evaluar los planes de acción que mejoren las condiciones de salud y de trabajo en el lugar en el que se labora.



7.4. Aspectos legales

A continuación se referencia la principal normatividad colombiana relacionada con la investigación de accidentes laborales, particularmente en el sector minero:

1. Decreto 1295 del 22 de junio de 1994, por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales (Colombia, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1994).
2. Resolución 0156 del 2005, por la cual se adoptan los formatos de informe de accidente de trabajo y de enfermedad profesional y se dictan otras disposiciones (Colombia, Ministerio de la Protección Social, 2005).
3. Resolución 1401 de 2007, por la cual se reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de trabajo (Colombia, Ministerio de la Protección Social, 2007).
4. Ley 1562 del 2012, por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional (Colombia, Congreso de la República, 2012).
5. Decreto 1072 del 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo (Colombia, Presidencia de la República, 2015a).
6. Decreto 1886 del 2015, por el cual se expide el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas (Colombia, Presidencia de la República, 2015b).
7. Decreto 944 del 2022, por el cual se modifica el Decreto 1886 de 2015 (Colombia, Presidencia de la República, 2022b).

7.5. Definiciones

- *Accidente de trabajo.* Definido por el artículo 3 de la Ley 1562 del 2012 como

  > [...] todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, una invalidez o la muerte.
  > Es también accidente de trabajo aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador, o contratante, durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, aun fuera del lugar y horas de trabajo.
  > Igualmente se considera accidente de trabajo el que se produzca durante el traslado de los trabajadores o contratistas desde su residencia a los lugares de trabajo o viceversa, cuando el transporte lo suministre el empleador.
  > También se considerará como accidente de trabajo el ocurrido durante el ejercicio de la función sindical, aunque el trabajador se encuentre en permiso sindical, siempre que el accidente se produzca en cumplimiento de dicha función.
  > De igual forma se considera accidente de trabajo el que se produzca por la ejecución de actividades recreativas, deportivas o culturales, cuando se actúe por cuenta o en representación del empleador o de la empresa usuaria cuando se trate de trabajadores de empresas de servicios temporales que se encuentren en misión. (Colombia, Congreso de la República, 2012)

- *Accidente grave:*

  > [...] aquel que trae como consecuencia amputación de cualquier segmento corporal; fractura de huesos largos (fémur, tibia, peroné, humero, radio y cúbito); trauma craneoencefálico; quemaduras de segundo y tercer grado; lesiones severas de mano, tales como aplastamiento o quemaduras; lesiones severas de columna vertebral con compromiso de médula espinal; lesiones oculares que comprometan la agudeza o el campo visual o lesiones que comprometan la capacidad auditiva. (Colombia, Ministerio de la Protección Social, 2007)

- *Accidente de trabajo mortal o fatal.* Son aquellos accidentes en los cuales se presenta la muerte del trabajador.
- *Acción correctiva.* Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad detectada u otra situación no deseable.
- *Acción preventiva.* Acción para eliminar o mitigar la(s) causa(s) de una no conformidad u otra situación potencial no deseable.
- *Análisis del accidente e incidente.* Es un proceso sistemático para determinar las causas inmediatas, básicas o la raíz del accidente e incidente, empleando para ello una metodología determinada, como árbol de causas, espina de pescado, método de análisis de causas de incidentes (Incident Cause Analysis Method, ICAM), árbol de fallas y errores, cadena causal, etc.

- *Causas básicas.* Son las causas subyacentes, fundamentales o raíz que crean las condiciones para que ocurran actos o condiciones inseguros. Se dividen principalmente en factores personales (como la falta de conocimiento, habilidad, capacidad física o psicológica, o motivación inadecuada del trabajador) y factores de trabajo (como diseño o mantenimiento inadecuado de equipos, normas de trabajo deficientes, o condiciones ambientales inseguras, liderazgo y supervisión).
- *Causas inmediatas*. Son los factores que se presentan justo antes de un accidente o incidente, y lo desencadenan directamente. Se clasifican en actos inseguros (comportamientos o acciones que contribuyen al accidente) y condiciones inseguras (circunstancias físicas o ambientales en el entorno que también contribuyen).
- *Condiciones y medio ambiente de trabajo.* Aquellos elementos, agentes o factores que tienen influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores, entre otros: a) las características generales de los locales, las instalaciones, las máquinas, los equipos, las herramientas, las materias primas, los productos y demás útiles existentes en el lugar de trabajo; b) los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente de trabajo y sus correspondientes intensidades, concentraciones o niveles de presencia; c) los procedimientos para la utilización de los agentes citados en el apartado anterior, que influyan en la generación de riesgos para los trabajadores, y d) la organización y el ordenamiento de las labores, incluidos los factores ergonómicos o biomecánicos, y psicosociales.
- *Defensas.* Son las barreras de control que la organización implementa para prevenir que un peligro se manifieste generando un accidente o mitigar sus consecuencias.
- *Efectividad.* Logro de los objetivos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), con la máxima eficacia y eficiencia.
- *Eficacia.* Es la capacidad de alcanzar el efecto que espera o se desea tras la realización de una acción.
- *Eficiencia.* Relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados.
- *Equipo investigador.* Equipo conformado para la investigación de los incidentes y accidentes de trabajo y de las enfermedades laborales.
- *Falla de control.* En un accidente e incidente de trabajo, se refiere a las fallas, debilidades o ausencias en la gestión administrativa u operativa por parte del empleador para implementar y supervisar las medidas de seguridad y salud en el trabajo.
- *FURAT. Formato Único de Reporte de Accidentes de Trabajo.* Es el documento oficial que se utiliza en Colombia para reportar formalmente un accidente laboral ante la Administradora de Riesgos Laborales y las autoridades correspondientes.
- *Incidente de trabajo.*

  Suceso acaecido en el curso del trabajo o en relación con este, que tuvo el potencial de ser un accidente, en el que hubo personas involucradas sin que sufrieran lesiones o se presentaran daños a la propiedad y/o pérdida en los procesos (Colombia, Ministerio de la Protección Social, 2007).

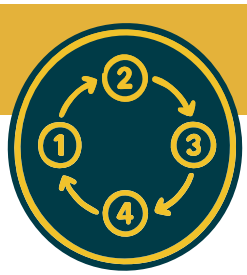
- *Investigación de accidentes e incidentes.* Acción de buscar y recopilar toda la información disponible relacionada con el accidente o incidente, tales como entrevistas con testigos, fotografías, videos, evidencias de campo (mediciones/muestras) y documentos varios.
- *Lesión.* Alteración en cualquier parte del cuerpo, interna o externamente, y que puede afectar el funcionamiento normal de los órganos.
- *Peligro.* Fuente, situación o acto con potencial para causar daño en términos de daño humano o deterioro de la salud o una combinación de estos.
- *Primeros auxilios.* Todas aquellas medidas o actuaciones que realiza el auxiliador, en el mismo lugar donde ha ocurrido el accidente hasta la llegada de personal especializado. Los primeros auxilios no son tratamientos médicos. Son acciones de emergencia para reducir los efectos de las lesiones y estabilizar el estado del accidentado.
- *Riesgo.* Combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso o exposición peligrosa y la severidad del daño o deterioro de la salud que puede causar el suceso o exposición.
- *Suceso.* Un accidente o incidente.



7.6. Orientación de la investigación y el análisis de accidentes e incidentes

La investigación y el análisis de accidentes e incidentes se enfoca hacia la identificación de causas inmediatas, y sus consecuentes causas básicas que las han generado, para diseñar e implementar acciones correctivas o preventivas encaminadas tanto a eliminar la(s) causa(s) para evitar la repetición del mismo accidente e incidente (o similares) como a aprovechar la experiencia para mejorar la gestión preventiva para el control de los accidentes e incidentes de trabajo.

Todo accidente e incidente de trabajo es una lección, y de su investigación y análisis se debe obtener la mejor y la mayor información posible no solo para eliminar las causas desencadenantes del suceso y así evitar su repetición, sino también para identificar aquellas causas que estando en la génesis del suceso propiciaron su desarrollo. Su conocimiento y control han de permitir detectar fallos de control u omisiones en la organización de la prevención en la empresa, a la vez que el control va a significar una mejora sustancial en la misma.



7.7. Fases para implementar en una investigación y análisis de accidentes e incidentes de trabajo

7.7.1. Etapa de la investigación

Corresponde a los pasos iniciales que permitirán recolectar información robusta y suficiente para garantizar un análisis basado en hechos y evidencias.

7.7.1.1. Describir el suceso

La descripción de un suceso es el texto que explica detalladamente las características de un acontecimiento, indicando el contexto en el que ocurrió. Su objetivo es permitir que el lector se forme una idea clara de lo que pasó, respondiendo a preguntas claves como qué, quién, cuándo, dónde, cómo y por qué.

7.7.1.2. Asegurar la escena

Asegurar la escena de un accidente e incidente es el proceso de proteger el lugar en donde se presentó el suceso para prevenir más daños o lesiones, garantizando la seguridad tanto de las víctimas como de los compañeros, del equipo de rescate y salvamento, o del personal paramédico, y para preservar la evidencia. Esto implica evaluar el entorno para identificar peligros como cables eléctricos caídos, derrames de sustancias químicas o estructuras inestables, etc., y tomar medidas para controlar o eliminar esos peligros y riesgos.

Para asegurar la escena es necesario seguir estos pasos:

1. *Valorar la seguridad:* antes de intervenir, evalúa rápidamente el lugar (en menos de 10 segundos), para identificar posibles peligros, como tráfico, fuego, materiales peligrosos o riesgos eléctricos. Si la escena es insegura, no intervengas y llama a los servicios de emergencia.
2. *Protección personal:* asegúrate de que el personal que interviene utiliza los elementos de protección personal (EPP) adecuado, como chalecos reflectantes.
3. *Eliminar peligros:* si es posible y seguro, intenta eliminar los peligros inmediatos, como apagar una máquina o contener un derrame. Sin embargo, la seguridad del personal es la máxima prioridad.
4. *Delimitar y aislar el área:* utiliza conos, cintas de señalización o barricadas para acordonar la zona y evitar que personas no autorizadas entren. Esto ayuda a proteger el lugar y a mantener el orden.
5. *Preservar la evidencia:* mantén el lugar lo más intacto posible. No mover, retirar o alterar nada innecesariamente. Si es necesario, documentar la escena con fotografías o videos antes de cualquier alteración.

7.7.1.3. Tomar fotos y videos

Es crucial en esta etapa de la investigación de accidentes e incidentes la recopilación de datos, que en este caso consiste en registrar visualmente el lugar, el equipo y las condiciones en el momento del accidente, para documentar objetivamente las circunstancias. Este material sirve como evidencia objetiva para reconstruir los hechos, identificar los factores causales y evitar futuros accidentes similares.

Los propósitos son:

1. *Documentar la escena:* capturar una representación visual del lugar exacto del accidente, incluyendo la disposición del equipo, los materiales y cualquier otro elemento relevante en el momento de los hechos.
2. *Proporcionar evidencia objetiva:* las fotos y videos ofrecen un registro imparcial que evita la dependencia exclusiva de testimonios verbales, que pueden ser subjetivos o imprecisos.
3. *Reconstruir la secuencia de eventos:* ayudan a recrear los pasos que llevaron al accidente, mostrando cómo interactuaron las personas, el equipo y el entorno.
4. *Identificar factores causales:* permiten identificar y documentar las condiciones y los factores que contribuyeron al accidente, como el mal estado de un equipo, la falta de señalización o una disposición insegura del lugar de trabajo.
5. *Facilitar la elaboración de informes:* el material visual es una parte fundamental del informe final del accidente, en tanto proporciona un soporte gráfico para las conclusiones y las recomendaciones de seguridad.

Es importante tener en cuenta:

1. *Inmediatez:* las fotos y los videos deben tomarse lo antes posible después del incidente, para preservar la escena original y evitar que se modifique.
2. *Objetividad:* la toma de datos, incluyendo fotos y videos, debe ser realizada de manera objetiva e imparcial, evitando interpretaciones o juicios de valor en el momento de la captura.
3. *Material:* es importante que el investigador esté preparado con el equipo adecuado, como una cámara de fotos y un equipo de video, además de otros elementos, como un metro, una grabadora y un cuaderno.



7.7.2. Etapa de análisis

Luego de la investigación, se aplica un procedimiento de análisis que eventualmente lleve a detectar las causas inmediatas, las causas raíz y definir acciones adecuadas para corregir actos y condiciones inseguras detectados, previniendo la repetición de sucesos similares al investigado. Este procedimiento consiste en desarrollar quince pasos, que se describen a continuación.



7.7.2.1. Conformar el equipo de análisis

El equipo de análisis de un accidente e incidente de trabajo es un grupo multidisciplinario creado para analizar las causas de un suceso y proponer las medidas preventivas y correctivas a que haya lugar. El equipo debería incluir actores como el jefe inmediato o supervisor del área en donde se presentó el suceso, un representante del Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo, el responsable del SG-SST, con licencia en seguridad y salud en el trabajo (SST) vigente, y otros expertos (según sea el caso).

En accidentes graves o fatales puede requerirse la intervención de expertos externos a nivel técnico, tecnológico, profesional, o de posgrado, competente, idealmente con experiencia en instalaciones eléctricas mineras o industriales. También se puede incluir un metodólogo (experto en aplicación de la técnica o metodología de análisis). Este perfil se puede cubrir con uno de los profesionales mineros.

De igual forma, se puede nombrar o vincular un tercero como relator, a fin de tomar y registrar toda la información y las decisiones tomadas por el equipo investigador, para elaborar el informe final.

Son funciones del equipo:

1. *Recopilar información:* se recolectan todas las evidencias físicas, documentales y testimoniales, como entrevistas a testigos, fotografías, videos o revisión de procedimientos, etc.
2. *Analizar causas:* se identifican las causas inmediatas y básicas que llevaron al accidente.
3. *Proponer medidas:* se plantean acciones correctivas y preventivas para evitar que el accidente se repita.
4. *Elaborar el informe:* se documenta toda la información recopilada y las conclusiones del análisis en un formato establecido, generalmente dentro de los 15 días posteriores al suceso.
5. *Evaluar la eficacia, la eficiencia y la efectividad:* verifica que las medidas implementadas sean eficaces, eficientes y efectivas para prevenir futuros incidentes.



7.7.2.2. Establecer los acuerdos en el equipo de análisis

El establecimiento de acuerdos en el equipo de análisis es el proceso colaborativo para definir y formalizar las reglas de funcionamiento del grupo, asegurando una comunicación clara, la distribución de responsabilidades y el compromiso con los objetivos comunes de la investigación.

Estos acuerdos deben ser consensuados, visibles y revisables, y que abarquen temas como la resolución de conflictos, la confidencialidad, la participación en publicaciones, la comunicación y la distribución de cargas de trabajo.

Acuerdos básicos son, por ejemplo:

- Participar y ser puntual en todas las sesiones de análisis.
- Evitar los señalamientos directos o la búsqueda de culpables.
- Evitar las suposiciones, las conjeturas y las interpretaciones.
- Evitar hacer juicios de valor durante la investigación y el análisis.
- Aceptar solamente hechos probados, concretos y objetivos.
- Centrar el análisis a partir de la definición del problema.
- Aceptar y debatir los argumentos de los miembros del equipo investigador.
- Ser respetuoso de todas las opiniones y los conceptos.



7.7.2.3. Establecer la línea de tiempo

En la investigación de un accidente de trabajo o incidente de trabajo, significa crear un registro cronológico de los eventos que llevaron al suceso para identificar las causas.

Este aspecto organiza los hechos (antes, durante y después del accidente), para entender la secuencia exacta, identificar las causas inmediatas, las causas básicas y las fallas en los controles, y así poder proponer medidas preventivas y correctivas.

Los pasos clave en la creación de la línea de tiempo son:

1. *Reconstruir la secuencia:* ordenar los hechos en orden cronológico, para entender qué pasó, cuándo ocurrió y cómo influyó cada evento en el accidente final.
2. *Identificar puntos de inflexión (coyunturas):* determinar los momentos clave en los que la secuencia de eventos podría haber tomado un rumbo diferente.
3. *Reconstruir el entorno:* analizar las condiciones operativas, las indicaciones de proceso y las presiones organizacionales que existían en cada coyuntura.
4. *Describir las acciones:* detallar las acciones específicas que emprendieron las personas y las tareas que se llevaron a cabo, tanto las que contribuyeron al accidente como las que se realizaron para minimizar las consecuencias.
5. *Separar hechos probados y declarados:* distinguir entre la información observada en la escena y las declaraciones o deducciones de los testigos e involucrados.

Los propósitos de la línea de tiempo son:

1. *Identificar causas:* permite una comprensión profunda de las causas inmediatas y básicas (actos inseguros y condiciones subestándar, fallas del sistema) que originaron el accidente.
2. *Proponer medidas correctivas:* facilita la definición de medidas correctivas y preventivas eficaces para evitar que el accidente se repita.
3. *Mejora continua:* contribuye a la mejora continua del SG-SST.



7.7.2.4. Definir el 5W

Definir las 5W (What,Who, Where, When, How - Qué, Quién, Dónde, Cuándo, Cómo) en el análisis de un accidente e incidente de trabajo significa hacerse una serie de preguntas fundamentales para recopilar la información necesaria y comprender las causas y circunstancias del suceso. Este método ayuda a obtener una imagen completa del suceso, para facilitar su análisis y encontrar las causas raíz del problema.

Las 5W en el análisis de un accidente e incidente de trabajo son:



Estas preguntas son un paso crucial para estructurar el análisis de un accidente e incidente de trabajo, permitiendo al grupo de investigación recopilar los datos necesarios para un análisis objetivo.

Al responder estas preguntas, se puede obtener una comprensión completa de la situación que dio origen al suceso, lo que a su vez ayuda a identificar las causas raíz y a tomar medidas preventivas o correctivas efectivas para evitar que se repita un suceso similar.



7.7.2.5. Definir el problema

A partir del análisis realizado en el 5W, se debe definir el problema, integrando las cinco respuestas, en un texto concreto, coherente, cierto, claro y fluido.

Este paso es importante, por cuanto:

- Una descripción precisa ayuda al equipo de análisis a entender la gravedad y el contexto del suceso, lo cual permitirá realizar un análisis más crítico con soluciones más efectivas.
- Da claridad y enfoque: una buena descripción del problema garantiza que los miembros del equipo de análisis tengan una comprensión común de la situación, evitando suposiciones.

- Facilita la comunicación del problema a otras personas, logrando que comprendan la gravedad y el impacto del suceso.
- Es base para el análisis: establece un punto de partida claro para identificar la(s) causa(s) raíz del problema, permitiendo que el análisis del suceso se centre en los hechos establecidos.
- Permite optimizar los recursos: al tener una descripción clara del problema, el análisis puede ser más rápido y menos costoso.



7.7.2.6. Seleccionar la metodología para la investigación del accidente de trabajo

De acuerdo con la gravedad del suceso, se recomiendan como metodologías de análisis, para la identificación del tipo de accidente y eventualmente llegar al diagrama causal, las siguientes opciones, dependiendo de la gravedad del evento ocurrido:

- *Árbol de causas.* Es un método inductivo que reconstruye la cadena de eventos y factores que llevaron a un accidente, partiendo del daño o suceso final y remontándose hacia atrás, para identificar las causas raíz.
  El árbol acostumbra a construirse de arriba hacia abajo, comenzando del suceso último: lesión, daño o pérdida, aunque puede también construirse de derecha a izquierda o de izquierda a derecha, partiendo en todos los casos de la lesión o del daño.
  A partir del suceso último, se delimitan sus antecedentes inmediatos y se prosigue con la conformación del árbol, remontando sistemáticamente de hecho en hecho, y respondiendo a la pregunta siguiente: "¿Qué tuvo que ocurrir para que este hecho se produjera?".
- *Análisis de causa de incidente – ICAM.* Es un proceso estructurado para investigar accidentes que van más allá de la causa única, buscando identificar factores contribuyentes y causas subyacentes relacionadas con las:
  - Defensas.
  - Las acciones individuales o de equipo.
  - Las condiciones ambientales.
  - Los factores organizacionales.

  Su objetivo es comprender la cadena de eventos que llevaron a un incidente, para implementar medidas preventivas efectivas y mejorar la cultura de la seguridad.
- *Espina de pescado.* Es una herramienta visual de causa-efecto que organiza las posibles causas de un accidente en categorías, como las "6M" (Máquina, Mano de Obra, Método, Materiales, Medio Ambiente y Medición).
  Primero se define el problema (el accidente) en la cabeza del pescado, y luego se identifican y agrupan causas inmediatas y básicas en las espinas, para visualizar la relación entre ellas y determinar la causa raíz.

- *5 porqués.* Técnica de resolución de problemas que se utiliza para explorar la relación causa-efecto que conduce a un determinado problema. El nombre deriva de la frecuente utilización del método de la pregunta "¿Por qué?". Esta pregunta repetitiva se emplea para determinar la causa raíz de un problema, repitiendo cinco veces por qué se produce el problema. Cada respuesta constituye la base de la siguiente pregunta. Los 5 porqués son una herramienta valiosa para la resolución de problemas, permitiendo identificar la raíz de un problema a través de una serie de preguntas sucesivas.
  Sin embargo, esta técnica presenta una limitación importante, ya que puede resultar desafiante aplicarla a problemas de mayor complejidad, donde las causas pueden ser múltiples y entrelazadas.

- *Técnica del análisis sistemático de causas* (TASC o Systematic Cause Analysis Technique). Es una herramienta de análisis de accidentes e incidentes que ayuda a identificar y comprender las causas raíz del suceso.
  Se basa en un modelo causal que retrocede desde el daño/la lesión/la pérdida hasta las causas básicas y las fallas de control, para luego implementar las acciones correctivas y preventivas que eviten que accidentes e incidentes similares vuelvan a ocurrir.

Finalmente, a la hora de elegir la metodología de análisis, se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones:

- Debe ser sencilla, fácil de usar.
- Debe ser concreta y recoger los datos necesarios e imprescindibles para identificar las causas.
- Debe facilitar el trabajo de recogida de datos. Se recomienda que haya un listado de causas agrupadas por tipos.
- Debe ser revisada y aprobada por la empresa, máximo responsable.
- Se deben incluir las acciones preventivas o correctivas a llevar a cabo, para evitar que se repita el suceso.

Antes de tomar una decisión de la metodología a usar para el análisis del suceso, **se le recomienda al equipo** conformado tener presente que:

- La metodología de los 5 porqués se puede utilizar cuando se trata de análisis de problemas asociados a accidentes *no graves* (golpes, contusiones, machucones, magulladuras, torceduras, cortadas, pinchazo, raspaduras, heridas superficiales, etc.) o incidentes de bajo potencialidad de daño. No se recomienda como técnica de análisis para identificar la(s) causa(s) raíz de accidentes fatales o graves.
- Para *sucesos fatales, graves* o i*ncidentes con alto potencial de daño*, se puede utilizar cualquiera de las otras metodologías anteriormente señaladas, ya que ellas nos proporcionan una guía estructurada para analizar los hechos y llegar a conclusiones sobre las causas que originaron el suceso.



7.7.2.7. Identificar el tipo de accidente e incidente de trabajo (agente)

Es el objeto, la sustancia, el movimiento o la exposición que directamente produjo la lesión, el daño o la pérdida.

- *Objeto:* una máquina troqueladora, una escalera, un objeto que cae.
- *Sustancia:* sustancias químicas, fuego, gases.
- *Movimiento:* un movimiento brusco, un tropiezo, una caída o un sobreesfuerzo.
- *Exposición:* contacto con:
  - Corriente eléctrica: corresponde solamente a casos sin impacto, en los cuales la lesión es choque eléctrico o electrocución.
  - Temperaturas extremas: se trata solamente de casos en los cuales hay exposición a altas o bajas temperaturas o contacto directo con objetos o sustancias calientes o frías. No corresponde a exposición con rayos solares.
  - Radiaciones: atiende a la exposición directa o indirecta a radiaciones ionizantes y no ionizantes, incluyendo las radiaciones solares.
  - Sustancias químicas: corresponde solo a casos en los cuales hay exposición directa con sustancias químicas por inhalación, ingestión o contacto directo.



7.7.2.8. Identificar la(s) causa(s)

De acuerdo con la metodología de análisis escogida y teniendo en cuenta la definición del problema, el grupo de investigación deberá identificar:

- Causas inmediatas:
  - *Actos inseguros:* omitir el uso de EPP disponible, omitir el uso de atuendo personal seguro, no asegurar o advertir, realizar bromas o juegos pesados, uso inadecuado del equipo, uso inapropiado de las manos o partes del cuerpo, falta de atención a las condiciones locativas, operar o trabajar a velocidad insegura, adoptar una posición insegura, errores de conducción, usar equipo inseguro.
  - *Condiciones inseguras:* defectos de los agentes, riesgo de la ropa o vestuario, riesgos ambientales no especificados en otra parte, métodos o procedimientos peligrosos, riesgos de colocación o emplazamiento inadecuadamente protegido, riesgos ambientales en trabajos exteriores distinto a otros riesgos públicos, riesgos públicos, condiciones peligrosas no especificadas en otra parte.

- Causas básicas
  - *Factores personales:* capacidad física/fisiológica inadecuada, capacidad mental/psicológica inadecuada, tensión física o fisiológica, tensión mental o psicológica, falta de conocimiento, falta de habilidad, motivación deficiente.
  - *Factores de trabajo:* supervisión y liderazgo deficiente, ingeniería inadecuada, deficiencias en las adquisiciones, manutención deficiente, herramientas y equipos inadecuados, estándares deficientes de trabajo, uso y desgaste.



7.7.2.9. Identificar las fallas de control

Identificar las fallas de control en el análisis de un accidente o incidente de trabajo es el proceso de analizar el suceso para encontrar las debilidades en las medidas de prevención y protección existentes, con el objetivo de evitar que el suceso se repita. Estas fallas se refieren a la ausencia, debilidad o deficiencia de las medidas preventivas, que pueden ser tanto en las condiciones del trabajo como en las prácticas y la gestión.

¿Qué son las fallas de control?

Debilidades del sistema de carácter administrativo: son las ausencias, fallas o incumplimiento de las políticas, procedimientos o prácticas establecidas para prevenir accidentes e incidentes de trabajo, tales como la falta de capacitación, formación o entrenamiento, o un mal monitoreo de los peligros/riesgos. Estas fallas indican una debilidad en el sistema de gestión de la seguridad y pueden llevar a una mayor exposición de los trabajadores a los peligros.

Debilidades del sistema de carácter operativo: cuando los procedimientos, los sistemas o las medidas de seguridad establecidos no evitan accidentes o daños a la salud de los trabajadores. Esta falla puede deberse a la inexistencia de controles, estándares inadecuados o al incumplimiento de estos; falta de supervisión y liderazgo; compra o adquisición de bienes y servicios que no cumplen los requerimientos de calidad; fallas en los programas de mantenimiento, etc. Se manifiestan como una debilidad en la gestión de riesgos de salud y seguridad, permitiendo que los peligros y los riesgos no sean eliminados o mitigados correctamente.



7.7.2.10. Elaborar el árbol o diagrama causal

Elaborar el árbol o diagrama causal de un accidente e incidente de trabajo es una representación visual de las relaciones entre la(s) causa(s) y el(los) efecto(s) entre las variables analizadas e identificadas.

El árbol o diagrama ayuda a entender o comprender las causas del suceso, conectando las causas inmediatas y básicas con el problema identificado, a través de una estructura ramificada similar a un árbol.

Este árbol también permite visualizar la cadena de sucesos, para comprender los factores que contribuyeron al accidente o incidente de trabajo.



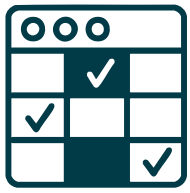
7.7.2.11. Diseñar el(los) plan(es) de acción

Diseñar el plan o los planes de acción resultantes del análisis de un accidente o incidente de trabajo es crear una hoja de ruta detallada que define las estrategias, las tareas y los recursos necesarios para alcanzar objetivos, con el fin de prevenir los riesgos, mejorar un proceso o garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores.

Estos planes son un conjunto de actividades organizadas y con responsables asignados para alcanzar una meta en un periodo de tiempo determinado.

El proceso para diseñar un plan de acción es el siguiente:

1. *Identificar el objetivo:* definir claramente qué se quiere lograr (por ejemplo, reducir un riesgo específico, mejorar la eficiencia de un proceso o prepararse para una emergencia).
2. *Analizar la situación actual:* realizar un análisis de riesgos o evaluar la situación actual para entender dónde se necesita la intervención.
3. *Desglosar en tareas:* dividir el objetivo general en pasos más pequeños y manejables.
4. *Asignar responsabilidades:* definir quién será el responsable de cada tarea.
5. *Establecer un cronograma:* fijar plazos realistas para cada tarea y para el plan en su conjunto.
6. *Identificar recursos y presupuesto*: determinar los recursos necesarios (humanos, financieros, materiales) y asegurar su disponibilidad.
7. *Definir indicadores de seguimiento:* establecer cómo se medirá el avance y el éxito de cada tarea y del plan completo.
8. *Documentar y comunicar:* poner el plan por escrito y asegurar que todos los involucrados lo entiendan.
9. *Revisar y actualizar:* evaluar el progreso periódicamente y hacer los ajustes necesarios.



7.7.2.12. Hacer seguimiento al cumplimiento de los planes de acción

Hacer seguimiento a los planes de acción de un suceso es el proceso continuo de monitorear el progreso de las acciones correctivas y preventivas, con el fin de garantizar que se cumplen los objetivos y se gestionan los riesgos de manera efectiva. Implica recopilar evidencia del avance y llevar a cabo reuniones periódicas para corregir el rumbo si es necesario.

Los pasos clave para el seguimiento son:

1. *Asignar responsables y definir objetivos claros:* es fundamental tener una persona encargada de cada acción y metas concretas desde el inicio.
2. *Establecer un cronograma:* crear un calendario realista y flexible, con fechas límite para cada actividad. Esto asegura que el plan se mantenga encaminado.
3. *Recopilar información y evidencia:* es necesario solicitar a los responsables los soportes que demuestren el avance y el cumplimiento de las tareas.
4. *Realizar reuniones de seguimiento periódicas:* estas reuniones sirven para revisar el progreso, discutir posibles problemas, identificar puntos críticos y tomar decisiones informadas.
5. *Medir el rendimiento:* utilizar métricas claras para evaluar si las acciones están logrando los resultados esperados.
6. *Tomar acciones correctivas:* si se detectan desviaciones o problemas, se deben implementar medidas para corregir el rumbo y asegurar el cumplimiento de los objetivos.
7. *Documentar y comunicar:* mantener registros claros del seguimiento y comunicar los avances a los involucrados, incluyendo a los entes de control. Esto facilita la rendición de cuentas y la transparencia.

¿Por qué es importante el seguimiento?

- *Asegura el cumplimiento:* evita que los planes se queden solo en el papel y garantiza que se implementen las acciones necesarias.
- *Permite la toma de decisiones:* proporciona información clara y oportuna para tomar decisiones técnicas, administrativas y financieras.
- *Mejora el desempeño:* ayuda a identificar y corregir problemas a tiempo, mejorando la gestión de riesgos y la seguridad en el trabajo.
- *Facilita la rendición de cuentas:* permite tener reportes claros sobre el progreso y el cumplimiento de los objetivos.



7.7.2.13. Cierre de los planes de acción

El cierre de los planes de acción de un accidente o incidente de trabajo es el proceso formal para confirmar que se han implementado todas las acciones correctivas identificadas en la investigación del suceso, o que están en curso.

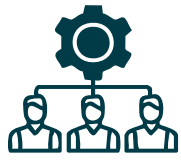
Implica recopilar evidencias de que las acciones propuestas se han ejecutado para demostrar a las autoridades que se ha trabajado en prevenir futuros incidentes.

Los pasos para el proceso de cierre son:

1. *Verificación de la ejecución:* se debe recopilar evidencia (documentos, fotos, registros, etc.) que demuestre que las acciones del plan fueron completadas acorde con lo requerido.
2. *Confirmación del estado de la acción:* si alguna acción no está finalizada, se debe documentar el progreso y el cronograma para su completa ejecución.
3. *Documentación:* se debe registrar todo el proceso de cierre, incluyendo las discusiones que llevaron a la determinación de que el plan está completo.
4. *Demostración de cumplimiento:* la evidencia recopilada sirve para demostrar a las autoridades competentes que se han tomado las medidas necesarias para evitar la repetición del suceso.

La importancia del cierre estriba en que permite:

- *La prevención de futuros accidentes:* el objetivo principal del análisis de un suceso es aprender de los errores y evitar que ocurran incidentes similares en el futuro.
- *El cumplimiento legal:* demostrar el cierre adecuado del plan de acción es fundamental para cumplir con las normativas y evitar sanciones.



7.7.2.14. Evaluar los planes de acción

Es el proceso de medir la eficacia, la eficiencia o la efectividad del plan para corregir o prevenir los peligros/riesgos identificados en un proceso, área de trabajo, actividad o una tarea específica. Esto implica revisar periódicamente el progreso, analizar los resultados reales frente a los esperados y ajustar el plan para garantizar que las acciones implementadas cumplan sus objetivos y reduzcan la exposición a peligros.

Los pasos clave de la evaluación son:

1. *Medir el progreso:* se revisa si las acciones se están completando según los plazos y los responsables designados.
2. *Comparar resultados:* se comparan los resultados obtenidos con los objetivos iniciales del plan. Se analiza si las acciones logran el efecto deseado, como la reducción de la exposición a riesgos.
3. *Identificar áreas de mejora:* si los resultados no son los esperados, se identifican los puntos débiles del plan para llevar a cabo los ajustes necesarios.

4. *Realizar ajustes:* se modifican las acciones, se establecen nuevos plazos o se reasignan recursos para asegurar que el plan sea cada vez más efectivo.
5. *Evaluar la efectividad general:* se determina si el plan ha sido eficaz en su objetivo principal de mejorar la seguridad y la salud en el trabajo, ya sea previniendo incidentes, accidentes o enfermedades laborales.
6. *Mantener el ciclo de mejora continua:* la evaluación es un proceso continuo, ya que los riesgos cambian y se descubren nuevos peligros con el tiempo.



7.7.2.15. Identificar y comunicar la lección aprendida

Una lección aprendida de un suceso es el conocimiento y las enseñanzas obtenidas tras la investigación y el análisis de un accidente o incidente de trabajo para prevenir su recurrencia. Implica identificar los peligros/riesgos, las causas del suceso y las acciones de mejora necesarias, tanto para quienes sufrieron el accidente como para el resto de los trabajadores y la organización en general.

Los componentes clave de una lección aprendida son:

1. *Análisis del suceso:* se analiza qué ocurrió, las causas directas e indirectas y los factores que contribuyeron al accidente.
2. *Identificación de peligros:* se identifican y documentan los riesgos que existían antes y los nuevos riesgos que puedan surgir.
3. *Propuesta de mejoras:* se proponen acciones correctivas y preventivas concretas, como cambios en procedimientos, equipos de protección, capacitaciones o señalización.
4. *Comunicación y divulgación:* las lecciones aprendidas se difunden entre los trabajadores, para que todos estén informados y puedan aplicar el aprendizaje en su trabajo diario.
5. *Aprendizaje continuo:* se convierten en un instrumento para la gestión del conocimiento y para mejorar la seguridad de manera permanente, no solo después de un suceso, sino también de accidentes e incidentes de trabajo que pudieron haber causado sucesos fatales o graves.

7.8. Caso de estudio de accidente eléctrico

Como cierre de este capítulo, se presenta un caso de estudio en el que se ilustra la secuencia de pasos para implementar las fases de una investigación y análisis de un accidente eléctrico hasta la propuesta del plan de acción. La información sensible es modificada para proteger la privacidad de las personas involucradas.

7.8.1. Etapa de investigación

7.8.1.1. Describir el suceso

El día 15 del [mes] del [año], en el turno de noche, siendo las 16:45, tres trabajadores son asignados al panel 1.3H. Los trabajadores Operador-01, Operador-02 y Operador-03 se desplazan al área a las 18:00 horas, en compañía del Capataz, quien les explica las labores a ejecutar, dentro de las que se debía completar la perforación de un frente y cargar material con rastrillo.

Operador-01 y Operador-02 realizan el trabajo asignado, mientras Operador-03 finaliza el cargue de material con rastrillo para descargar en tolva.

Habiendo finalizado la perforación del frente, Operador-01 hace la comprobación del paso de energía en el cable de alimentación del equipo de cargue. Cuando se cerciora de que el equipo no está energizado, pasa a encenderlo. Al levantar la cuchara del *scoop* (cargador de bajo perfil) se dispara el interruptor, y Operador-01 pide a Operador-02 que revise el interruptor ubicado junto a la tolva de descargue. Asimismo, supusieron que podría haberse disparado el interruptor principal ubicado en la zona de la "Guía 03-N2".

Operador-01 se dirige a buscar al técnico electricista de turno y se encuentra con este en la tecla de descargue del nivel 02; allí le informa que el *scoop* había fallado.

El técnico electricista se encontraba revisando una locomotora, tarea que completó para luego dirigirse hacia el panel donde se hallaba el equipo que presentó falla, mientras iba revisando los interruptores correspondientes al lugar donde estaba el equipo, evidenciando que se encontraban armados.

Operador-01 había vuelto a ingresar al área antes que el técnico electricista, subiendo de camino el interruptor principal. Posteriormente, al llegar al panel, enciende el equipo, pero este no da marcha, por lo que decide proceder por cuenta propia a ajustar el pedal del equipo.

Se escucha un estallido seguido de un grito. En ese momento, Operador-03 se encontraba bebiendo agua cerca de la parrilla de descargue y del interruptor, mientras que Operador-02 estaba en el lado opuesto del equipo donde se hallaba Operador-01. Operador-02 corrió hacia la zona de la parrilla de descargue gritando a su compañero para que bajara el interruptor. Cuando Operador-03 reacciona, extiende la mano y baja el interruptor para cortar la energía del equipo, al mismo tiempo que el técnico electricista, que venía llegando a la escena, reacciona a bajar también el interruptor.

Acto seguido, Operador-02 vuelve al lugar alumbrando hacia el equipo y observa que Operador-01 se encontraba alrededor de tres metros de distancia de la parte trasera del equipo, acostado y mostrando espasmos en el suelo. Operador-02 y el técnico electricista proceden a llamar a Operador-01 para que reaccionara, mientras que Operador-03 salió en busca de ayuda. Operador-01 estaba en choque y no reaccionaba a los llamados de sus compañeros de trabajo. Otros compañeros de trabajo empezaron a llegar desde otras áreas aledañas al panel. Se le tomó el pulso a Operador-01 y era muy débil. Posteriormente, siguiendo con el procedimiento respectivo, le retiraron los EPP, se montó en camilla, se le prestaron primeros auxilios y se le llevó hasta el nivel-02 y luego hasta el nivel-05, donde es valorado por el paramédico. Allí se le aplicó un procedimiento, suministrándole oxígeno. Desde el nivel-05 fue evacuado hacia superficie por el *skip* (vagoneta de extracción vertical o inclinada) principal y posteriormente fue trasladado hacia el hospital municipal, donde luego de intentar la reanimación, se determinó la defunción de Operador-01.

7.8.1.2. Asegurar la escena

Se restringe el acceso al área y se delimita con cinta. El procedimiento se realiza garantizando una identificación de otros peligros potenciales en la escena, así como el uso de los EPP por los trabajadores que intervienen.

7.8.1.3. Tomar fotos y videos

Al tratarse de un caso de estudio, aunque los investigadores asignados levantaron registros fotográficos y videos de la escena y el área donde ocurrió el accidente, para el ejemplo no se presentan estos, para mantener la confidencialidad pertinente.

7.8.2. Etapa de análisis

A continuación se muestra la aplicación de los quince pasos antes enunciados.

7.8.2.1. Conformar el equipo investigador

El equipo investigador se compone de 3 ingenieros de minas, 1 ingeniero geólogo, 1 ingeniero electricista, 1 profesional en seguridad y salud en el trabajo y 1 metodólogo experto en investigación de accidentes.

7.8.2.2. Establecer las reglas de análisis

Se acuerdan los siguientes puntos como reglas para el ejercicio:

- Participar y ser puntual en todas las sesiones de análisis.
- Evitar la búsqueda de un culpable o culpables directos.
- Evitar hacer juicios de valor durante el análisis.
- Diferenciar plenamente hechos probados, concretos y objetivos, frente a suposiciones, conjeturas e interpretaciones.
- Centrar el análisis a partir de la definición del problema.
- Aceptar y debatir los argumentos de los miembros del equipo investigador.
- Ser respetuoso de todas las opiniones y los conceptos, refutando argumentos con argumentos, apuntando a llegar a un consenso.

7.8.2.3. Establecer la línea de tiempo

La línea de tiempo inicia el 15 de [mes] y finaliza en la madrugada del siguiente día.



7.8.2.4. Definir el 5W



Qué	Quién	Dónde	Cuándo	Cómo
Fallecimiento	Operador-01	Panel 1.3H	15 de [mes] del [año], a las 23:30.	Al encender el *scoop,* se identifica una falla en pedal de acelerador; este es intervenido, con equipo energizado, presentándose una descarga eléctrica.

Estas preguntas conducirán a la identificación del(de los) por qué(s), la(s) causa(s) raíz.

7.8.2.5. Definir el problema

Fallecimiento del señor Operador-01, ocurrido el día 15 del [mes] del [año] a las 23:30, dentro del labores subterráneas, específicamente en el Panel 1.3H. El evento ocurre cuando al encender el equipo *scoop,* se identifica una falla en el pedal del acelerador, que es intervenido, generando una descarga eléctrica a Operador-01.

7.8.2.6. Seleccionar la metodología a aplicar

Para este caso se decidió utilizar la metodología TASC.

7.8.2.7. Identificar el tipo de accidente

La identificación del tipo de accidente se determina como “Contacto con corriente eléctrica”.

7.8.2.8. Analizar las causas

- Causas inmediatas (síntomas del problema)
  - *Actos inseguros:*
    - Usar equipo defectuoso o en mal estado.
    - Intervenir máquinas o equipos en funcionamiento o herramientas accionadas por aire o a motor.
  - *Condiciones inseguras:*
    - Máquinas, equipos, herramientas, materiales defectuosos.
- Causas básicas (signos del problema o causas raíz)
  - *Factores personales:*
    - Capacidad mental/psicológica inadecuada.
    - Tensión física o fisiológica.
  - *Factores de trabajo:*
    - Liderazgo o supervisión inadecuada.
    - Mantenimiento inadecuado.
    - Herramientas/equipos inadecuados.
    - Estándares de trabajo inadecuados.

7.8.2.9. Identificar las fallas de control

Se identificaron fallas de control en los siguientes aspectos:

- Inspecciones de seguridad planeadas.
- Análisis y procedimientos de trabajo/tarea.
- Observación de tareas críticas.
- Procedimientos de seguridad.
- Sistema de evaluación de procedimientos.

7.8.2.10. Elaborar el diagrama causal

En la Figura 84 se muestra una representación visual de las relaciones causa-efecto entre las variables analizadas e identificadas.

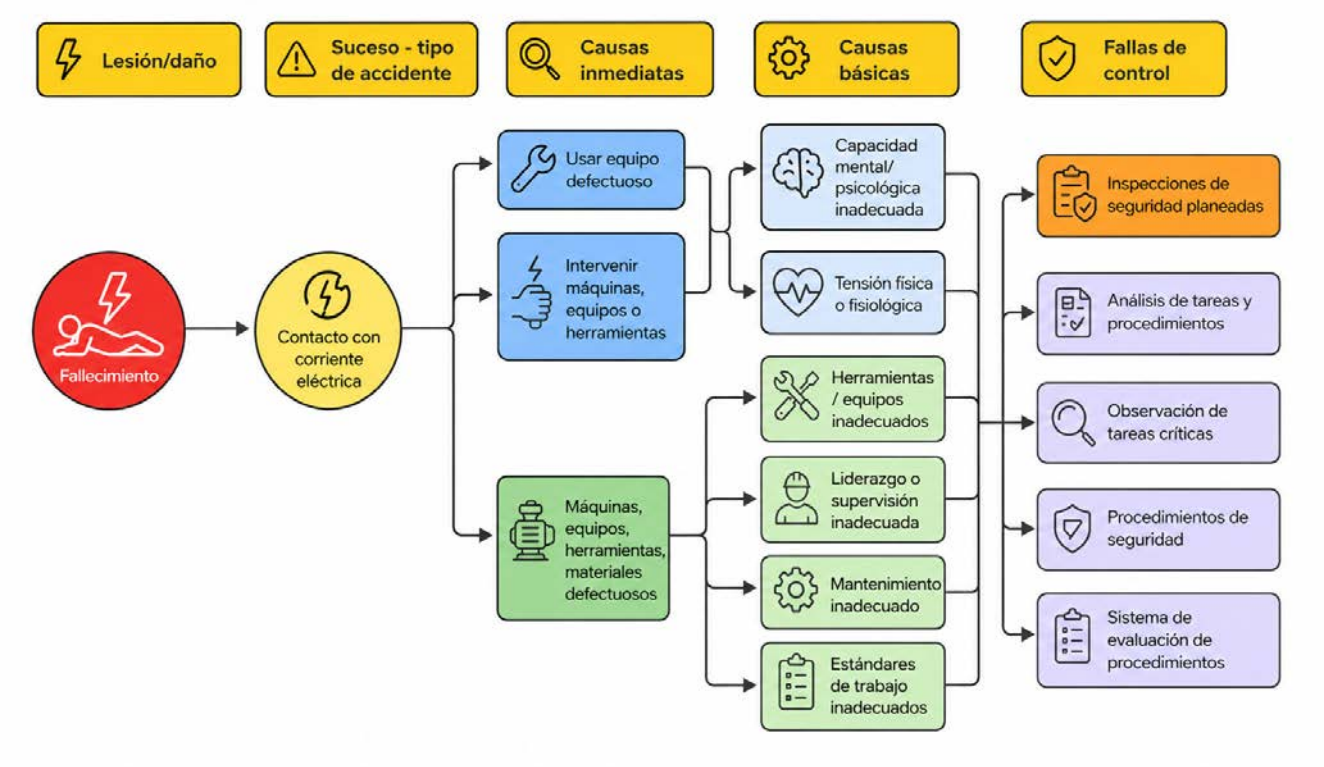


Figura 84. Diagrama causal
Fuente: elaboración propia.

7.8.2.11. Diseñar planes de acción

El ejercicio realizado llega hasta este punto, pues fue el alcance posible en las condiciones que se desarrolló el ejercicio. Asimismo, suele ser el momento hasta el que el equipo de investigación y análisis tiene un rol activo.

En la Tabla 13 se presenta un resumen sobre los elementos que deben guiar la elaboración de planes de acción conforme a los resultados del análisis de investigación.

Tabla 13. Plan de Acción

Número	Falla de control	Qué hacer	Cómo hacerlo	Quién lo hace
1	Análisis de procedimientos y tareas	Disciplina operativa	Garantizar la disponibilidad del procedimiento de aseguramiento de energía eléctrica	Jefe de mina / Jefe del área de Seguridad y Salud en el Trabajo
2	Procedimientos de seguridad		Validar la calidad del procedimiento de aseguramiento de energía eléctrica	
3	Sistema de evaluación de procedimientos		Comunicar y evaluar la compresión que se tiene del procedimiento de aseguramiento de energía eléctrica	
4	Observación de tareas críticas		Verificar el cumplimiento de los procedimientos de aseguramiento de energía eléctrica	
5	Inspecciones de seguridad planeadas	Establecer la integridad mecánica de los equipos, a fin de asegurar su confiabilidad	Implementar un programa integral que abarque la inspección, el mantenimiento y los procedimientos operativos y de seguridad	Jefe de mina / Capataz
6	Socializar la lección aprendida del accidente fatal		Realizar la divulgación de la lección aprendida del accidente fatal en reunión general con todos los trabajadores de la operación minera, y con énfasis en la aplicación del procedimiento de aseguramiento de energía eléctrica	Gerente general

Fuente: elaboración propia.

7.8.2.12. Cierre del ejercicio

Llegado este punto, proceden las fases de seguimiento a cumplimiento de planes de acción; cierre de los planes de acción; evaluación de los planes de acción, y lección aprendida. Estos procedimientos se desarrollan por las personas con los roles determinados dentro de la empresa, pudiendo ser opcional la verificación posterior por un representante del equipo de investigación y análisis.



8. Cultura de la seguridad y mejora continua

La cultura de la seguridad eléctrica y la mejora continua constituyen el eje estratégico que sostiene en el tiempo la gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea.

Más allá del cumplimiento normativo o la implementación de controles técnicos, estos enfoques promueven una organización donde la prevención es un valor compartido, el liderazgo es visible, las lecciones aprendidas se transforman en acciones concretas y cada incidente o desviación se convierte en una oportunidad de aprendizaje.

Integrar ambos conceptos implica consolidar comportamientos seguros, fortalecer las defensas del sistema y revisar de manera sistemática procesos, procedimientos y competencias, asegurando que la gestión del riesgo eléctrico evolucione al mismo ritmo que las condiciones operativas y tecnológicas de la mina.

8.1. Cultura de la seguridad eléctrica en minería subterránea

La cultura de la seguridad es el conjunto de valores, creencias y prácticas compartidas que guían el comportamiento seguro de los trabajadores.

Entre las barreras más comunes en la cultura de la seguridad eléctrica se destacan:

- Creencia de que “los accidentes eléctricos son inevitables”.
- Presión por la producción, que lleva a omitir procedimientos LOTO y eléctricos.
- Uso de equipos eléctricos improvisados para ahorrar costos.

Para superar tales barreras, existen estrategias que permiten fortalecer la cultura de la seguridad eléctrica, dentro de las cuales encontramos:

- Liderazgo visible: los supervisores deben ser ejemplo en el uso de EPP y en el cumplimiento de procedimientos.
- Comunicación efectiva: campañas visuales y protocolo de 5 minutos de reflexión.
- Reconocimiento positivo: incentivar en los trabajadores el reporte de condiciones o actos inseguros.
- Participación activa: incluir al personal operativo en simulacros y en el diseño de procedimientos.
- Lecciones aprendidas: difundir informes de incidentes eléctricos con recomendaciones prácticas.

De igual manera, se debería contar con herramientas de apoyo como:

- Listas de chequeo ilustradas para identificar riesgos eléctricos.
- Videos demostrativos de procedimientos seguros.
- Simuladores virtuales de arco eléctrico como herramienta de concientización.

Una cultura de la seguridad sólida se logra con liderazgo, comunicación y participación activa de todos los trabajadores.

En el momento en el que la organización alcanza un nivel avanzado en la cultura de la seguridad, esto se refleja en la gestión del riesgo eléctrico, cuando la prevención deja de depender únicamente de normas y supervisión, y se convierte en un comportamiento natural y colectivo dentro de la operación minera.

En este contexto, las decisiones técnicas y operativas priorizan sistemáticamente el control del riesgo eléctrico, el personal detiene tareas inseguras sin temor a represalias, los reportes de condiciones inseguras se valoran como oportunidades de mejora y la dirección demuestra un compromiso visible con la inversión en mantenimiento, formación y modernización de protecciones. Asimismo, los incidentes y accidentes se analizan con enfoque sistémico, fortaleciendo los mecanismos de control organizacionales y técnicos. De esta manera, la gestión del riesgo eléctrico no se limita al cumplimiento, sino que evoluciona de forma proactiva y sostenible.

8.2. Mejora continua aplicada en la gestión del riesgo eléctrico

El proceso de mejora continua constituye la base para mantener la efectividad y la sostenibilidad del sistema de gestión del riesgo eléctrico en minería subterránea. Este enfoque permite que los resultados obtenidos a través del monitoreo, las auditorías y los indicadores se traduzcan en acciones concretas que eleven los niveles de seguridad, eficiencia y cumplimiento normativo.

La mejora continua debe ser entendida no solo como una obligación de gestión, sino también como un compromiso permanente con la protección de la vida, la integridad de los equipos y la confiabilidad operativa.

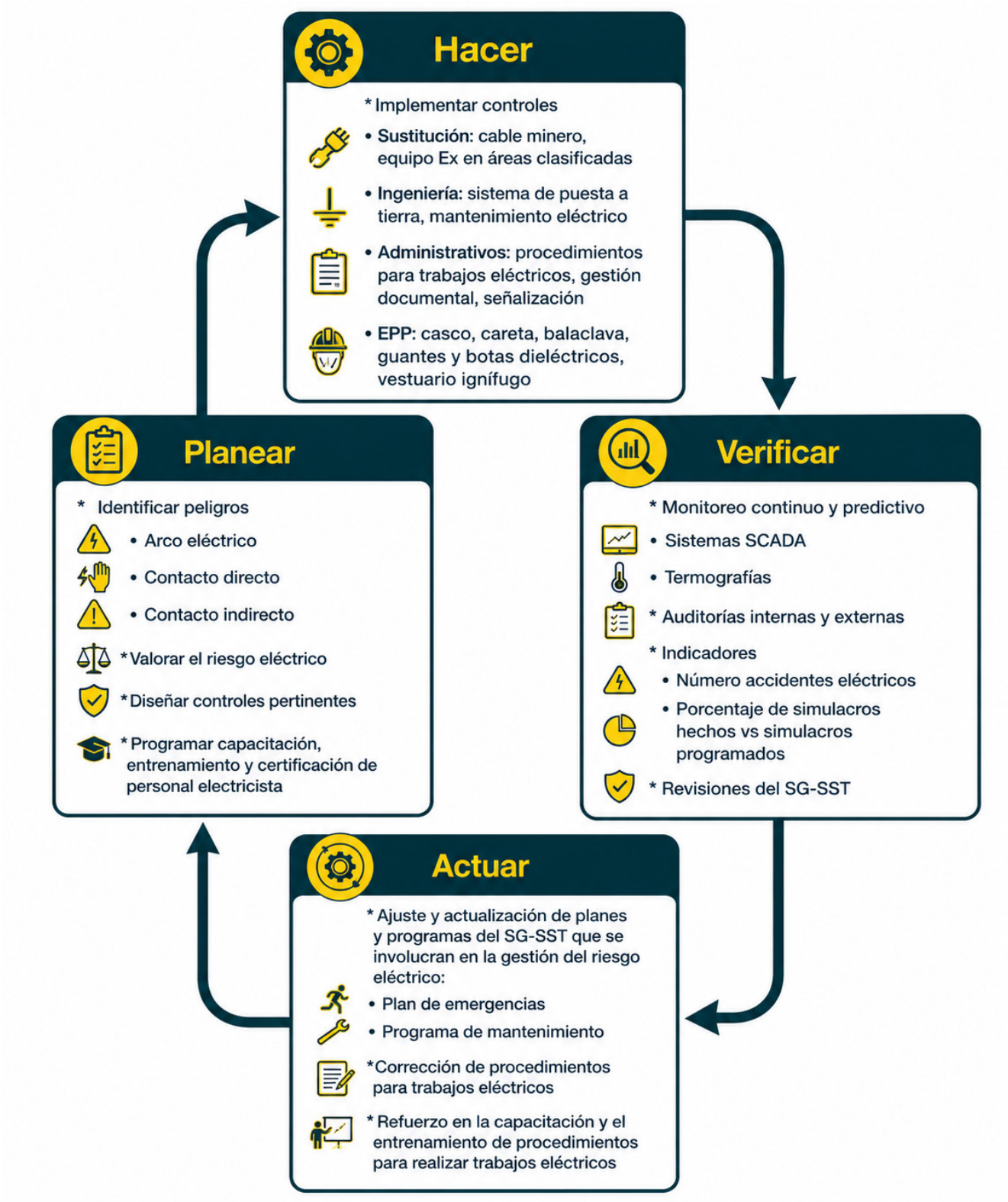
El ciclo PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) (véase Figura 85) orienta este proceso de la siguiente manera:

Planear: definir objetivos claros en materia de control del riesgo eléctrico, asignar responsabilidades y programar acciones (con recursos y cronogramas definidos).

Hacer: ejecutar las actividades programadas, incluyendo mantenimientos preventivos, capacitaciones técnicas, inspecciones de seguridad y actualizaciones de procedimientos operativos.

Verificar: evaluar el cumplimiento de lo planeado, mediante auditorías internas, seguimiento de indicadores de gestión y análisis de incidentes eléctricos o condiciones inseguras detectadas.

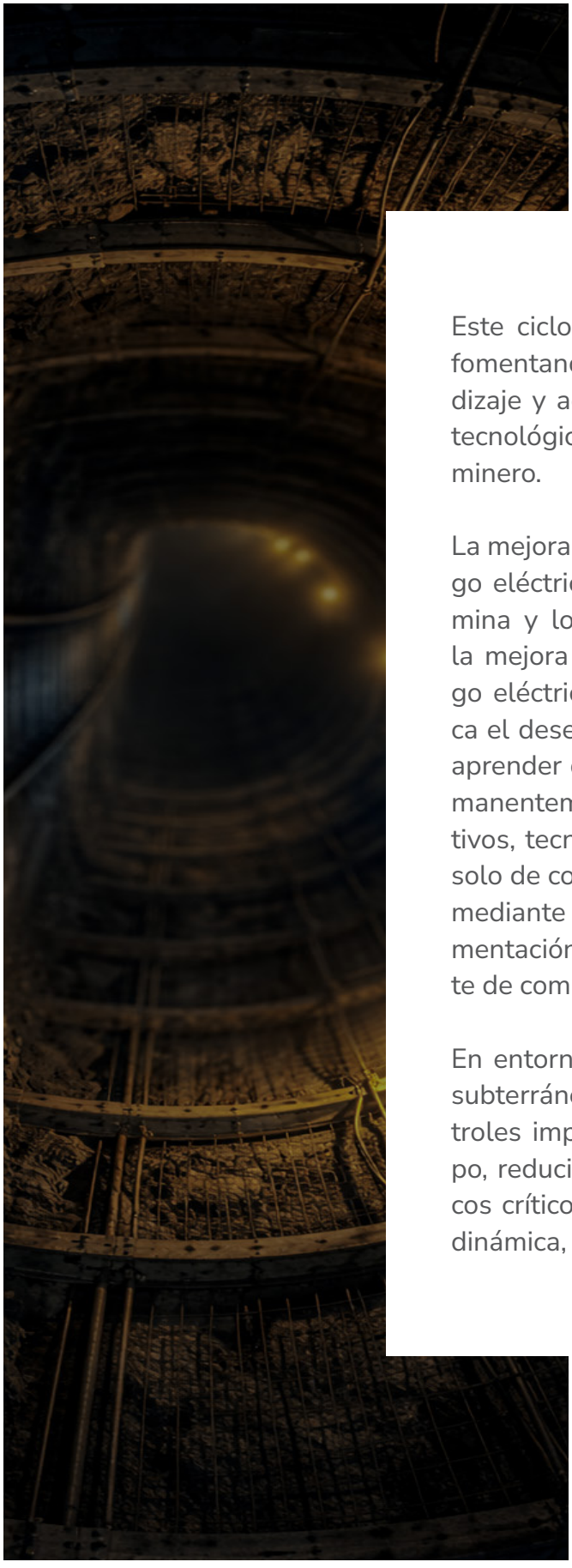
Actuar: implementar acciones correctivas y preventivas basadas en los hallazgos del monitoreo, documentando las lecciones aprendidas y actualizando los procedimientos o controles para evitar recurrencias.



EPP: Elementos de protección personal; SCADA: Sistema de control supervisor y adquisición de datos; SG-SST: Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo

Figura 85. Ciclo PHVA enfocado en el riesgo eléctrico

Fuente: elaboración propia.



Este ciclo debe repetirse de manera sistemática, fomentando una cultura organizacional de aprendizaje y adaptación continua frente a los cambios tecnológicos, normativos y operativos del entorno minero.

La mejora continua asegura que la gestión del riesgo eléctrico evolucione con las necesidades de la mina y los avances tecnológicos. De este modo, la mejora continua aplicada a la gestión del riesgo eléctrico implica evaluar de manera sistemática el desempeño de los controles implementados, aprender de accidentes e incidentes, y ajustar permanentemente los procesos ante cambios operativos, tecnológicos y organizacionales. No se trata solo de corregir fallas, sino también de anticiparlas mediante las auditorías, los indicadores, la retroalimentación del personal y la actualización constante de competencias.

En entornos de alta complejidad como la minería subterránea, este enfoque asegura que los controles implementados se fortalezcan con el tiempo, reduciendo la probabilidad de eventos eléctricos críticos y consolidando una gestión del riesgo dinámica, resiliente y sostenible.



9. Tendencias e innovación en gestión del riesgo eléctrico



9.1. Vehículos eléctricos de batería en la minería subterránea

Hooli y Halim (2025) analizan el momento decisivo que atraviesa la industria minera, en particular las minas subterráneas, con la llegada de los vehículos eléctricos de batería *(Battery Electric Vehicle,* BEV). Estos no son solo una alternativa, sino una fuerza disruptiva que está cambiando la forma en que se mide la productividad y la seguridad en las minas.

Los BEV están revolucionando el entorno laboral, al eliminar los gases de escape tóxicos, el polvo diésel, el calor extremo y el ruido ensordecedor. Este cambio no solo busca mejorar la salud de los trabajadores, sino también reducir de manera significativa los costos de ventilación y aire acondicionado, que pueden llegar a representar entre el 40 y el 50 % del consumo energético total de una mina.

Esta transición es pionera en minas en Norteamérica, con la mayor cantidad de BEV adquiridos y probados: más de 214 en operación y al menos 13 en fase de prueba.

No obstante, el camino hacia minas totalmente eléctricas no está exento de desafíos, y se enfrenta a retos importantes, como revelan los resultados de dos encuestas exploratorias ejecutadas por los autores, una hacia las gerencias de empresas mineras y otra hacia trabajadores de minas, en las que se ha implementado un equipo de cargue de mineral completamente eléctrico:

- *Costo y confiabilidad:* el mayor obstáculo es el alto costo inicial y la percepción de que la tecnología todavía no está completamente probada. Sin embargo, la valoración general de los gerentes de empresas mineras es que confían en que la inversión se recuperará gracias a menores costos operativos, al eliminar gastos de combustible y lubricantes.
- *Productividad y autonomía:* aún no hay una conclusión clara sobre si los BEV superan a los equipos diésel en productividad. La duración limitada de las baterías sigue siendo una preocupación para los operadores.
- *Estrategias de adaptación:* para afrontar la autonomía limitada, el 43 % de las minas usa carga rápida, y el 57 % de los gerentes de empresas mineras considera combinar los BEV con tecnología de trole aéreo en rampas inclinadas.
- *Seguridad contra incendios:* es un tema sensible que genera preocupación entre el personal. La experiencia muestra que los operadores no coinciden del todo en que los BEV sean más seguros que los equipos a diésel. Hasta 2023, se reportaron 11 incidentes de incendio en minas subterráneas de Estados Unidos y Canadá, principalmente por fallas físicas en el equipo, como problemas en estaciones de carga, fugas de refrigerante o fallas en el aislamiento de las baterías.
- *Mantenimiento y capital humano:* los BEV destacan por su simplicidad y menor número de componentes y fluidos. No obstante, la gerencia reconoce que el mantenimiento exige nuevas habilidades, desde diagnosticar fallas en baterías hasta manejar incidentes.

Como se muestra en la Figura 86, como toda nueva tecnología, los BEV presentan algunos aspectos valorados de manera positiva y otros de manera negativa a la hora de evaluar su desempeño en operaciones subterráneas, considerando especialmente que implicarían, en algunos casos, la sustitución de flotas de vehículos con motor de combustión ya operantes dentro de las minas.

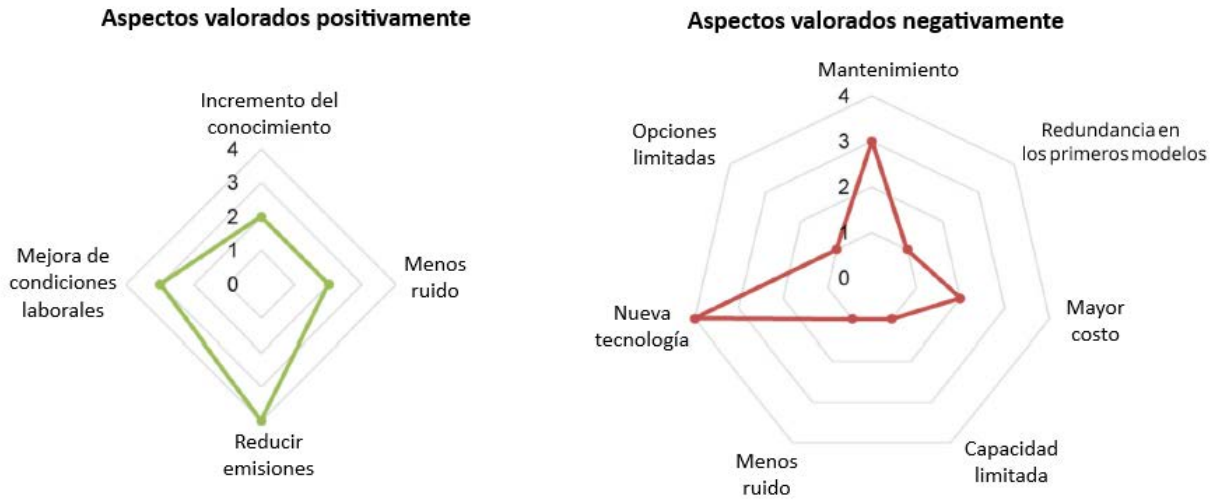


Figura 86. Aspectos valorados positiva y negativamente en vehículos eléctricos de batería
Fuente: adaptada y traducida de Hooli y Halim (2025, p. 11).

La transición a la electromovilidad de los equipos mineros subterráneos traerá nuevos retos para la gestión de la seguridad eléctrica, pues demandará una integración robusta de la planeación operativa de la producción minera con la proyección del avance de infraestructura que soporte el uso de una flota eléctrica completa, así como el mantenimiento preventivo de equipos e instalaciones eléctricas subterráneas.

9.2. Realidad virtual para el entrenamiento en seguridad eléctrica

Stefan *et al.* (2024), en el artículo "How effective is virtual reality for electrical safety training? Evaluating trainees' reactions, learning, and training duration" (¿Qué tan efectiva es la realidad virtual para la capacitación en seguridad eléctrica? Evaluación de las reacciones, el aprendizaje y la duración de la capacitación de los aprendices), plantean una revisión y evaluación del potencial de la realidad virtual (RV) inmersiva como una solución de vanguardia para la formación en procedimientos de seguridad eléctrica de bajo voltaje, buscando superar las limitaciones de la capacitación tradicional basada en conferencias, que a menudo resulta ineficaz para la concientización práctica sobre riesgos.

La investigación parte de la premisa de que, a pesar del uso generalizado y los riesgos inherentes del equipo eléctrico de bajo voltaje, la capacitación convencional carece del impacto necesario para garantizar la seguridad de los trabajadores. El objetivo central fue investigar la efectividad de la RV inmersiva para la capacitación en seguridad eléctrica de bajo voltaje, evaluando específicamente las reacciones de los aprendices hacia la tecnología, la adquisición y la retención de conocimientos de seguridad, y la duración de la capacitación.

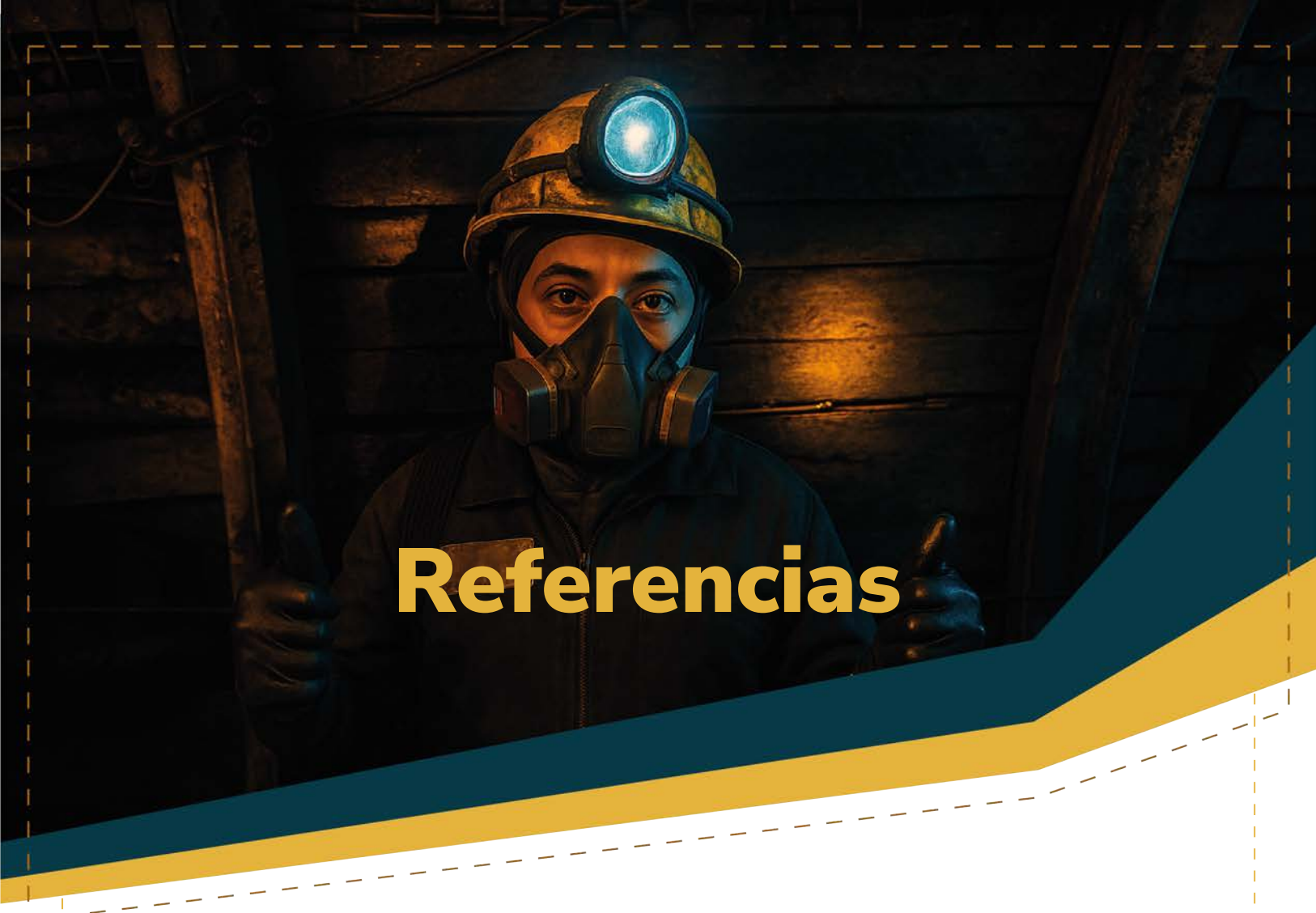
La RV ofrece un entorno virtual seguro, donde los participantes pueden practicar diversas tareas eléctricas y enfrentarse a escenarios peligrosos sin riesgo físico, como se muestra, por ejemplo, en la Figura 87, en la que dentro del programa de entrenamiento se simula un entorno para la medición de voltaje.



Figura 87. Medición de voltaje en entrenamiento de realidad virtual
Fuente: tomada de Stefan *et al.* (2024, p. 55).

El estudio empleó un diseño experimental intragrupo (o *within-group*), donde se evaluó al mismo grupo de individuos en diferentes momentos para medir el impacto del entrenamiento.

- *Participantes:* se contó con 18 participantes, predominantemente hombres (15 de 18), con una edad promedio de 43,7 años. La muestra incluyó una mezcla de roles industriales relevantes para la seguridad: oficiales de Seguridad y Salud en el Trabajo, operadores/coordinadores e ingenieros.
- *Capacitación en RV:* el entrenamiento consistió en una simulación de aislamiento eléctrico para la remoción de un motor de bomba, que cubrió tanto la teoría como la práctica procedimental.
- *Evaluación:* el aprendizaje se midió en tres fases: antes de la capacitación (línea base), inmediatamente después y, de manera crucial, cuatro semanas después, para evaluar la retención a largo plazo. La métrica de efectividad más importante se centró en la transferencia y retención del conocimiento de seguridad.
- *Adquisición inmediata:* la RV resultó en una mejora inmediata y altamente significativa en las puntuaciones de las pruebas de conocimiento total, con un aumento promedio del 105,8 % inmediatamente después del entrenamiento. Este impacto fue más fuerte en el conocimiento procedimental, validando la fuerza de la RV para enseñar el "saber hacer" de tareas críticas.
- *Retención a largo plazo:* a pesar de una disminución esperada después de cuatro semanas (el olvido natural), las puntuaciones de conocimiento se mantuvieron sustancialmente más altas que la línea base previa a la capacitación. La RV logró una retención agregada de conocimiento del 66,08 %, lo que demuestra su capacidad no solo para impartir conocimiento, sino también para asegurar que una porción crítica de la información se mantenga disponible en la memoria a largo plazo del trabajador.



Referencias

Agencia Nacional de Minería (ANM). (2025). Sábana de accidentalidad minera [Base de datos de acceso restringido al público general].

Agencia Nacional de Minería (ANM) y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (2024). *Guía técnica para la gestión del riesgo minero causado por atmósferas contaminadas o viciadas.* https://www.anm.gov.co/sites/default/files/2025-02-28-guia-tecnica-gestion-riesgo-minero-v7-1a.pdf

Colombia, Congreso de la República. (2001). Ley 685, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones (agosto 15). https://www.anm.gov.co/sites/default/files/ley_685_2001_0.pdf

Colombia, Congreso de la República. (2012). Ley 1562, por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional (julio 11). https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Ley-1562-de-2012.pdf

Colombia, Congreso de la República. (2022). Ley 2250, por medio del cual se establece un marco jurídico especial en materia de legalización y formalización minera, así como para su financiamiento, comercialización y se establece una normatividad especial en materia ambiental (julio 11). http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_2250_2022.html

Colombia, Ministerio de la Protección Social. (2005). Resolución 0156, por la cual se adoptan los formatos de informe de accidente de trabajo y de enfermedad profesional y se dictan otras disposiciones (enero 27). https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15861

Colombia, Ministerio de la Protección Social. (2007). Resolución 1401, por la cual se reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de trabajo (mayo 14). https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=53497

Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (2004). Resolución 180398, por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, que fija las condiciones técnicas que garanticen la seguridad en los procesos de Generación, Transmisión, Transformación, Distribución y Utilización de la energía eléctrica en la República de Colombia y se dictan otras disposiciones (abril 7). https://www.minenergia.gov.co/documents/3832/22074-2284.pdf

Colombia, Ministerio de Minas y Energía. (2009). Resolución 181331, por la cual se expide el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP y se dictan otras disposiciones (agosto 6). https://camacol.co/sites/default/files/00.%20Resolucion%20181331%20de%202009.pdf

Colombia, Ministerio de Minas y Energía (MME). (2015). Resolución 40599, por medio de la cual se adopta el Glosario Técnico Minero (mayo 27). https://saportalanm.blob.core.windows.net/public-files/file_resoluciones/res_40599_15_glosario_tecnico_minero_0.pdf

Colombia, Ministerio de Minas y Energía (MME). (2022). Resolución 40209, por medio de la cual se actualiza la Política Nacional de Seguridad Minera (junio 10). https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/2022/06/Resoluci%C3%B3n-40209-de-2022.pdf

Colombia, Ministerio de Minas y Energía (MME). (2024a). Resolución 40117, por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) (abril 2). https://cancilleria.gov.co/normograma/compilacion/docs/resolucion_minminas_40117_2024.htm

Colombia, Ministerio de Minas y Energía (MME). (2024b). Resolución 40150, por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) (mayo 3). https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-iluminaci%C3%B3n-y-alumbrado-p%C3%BAblico-retilap/

Colombia, Ministerio de Minas y Energía (MME). (2025). *ABC Sistema Nacional de Seguridad Minera.* https://www.minenergia.gov.co/documents/14280/ABC-SNSM-2025.pdf

Colombia, Ministerio del Trabajo. (2019a). Resolución 0312, por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST (febrero 13). https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59995826/Resolucion+0312-2019-+Estandares+minimos+del+Sistema+de+la+Seguridad+y+Salud.pdf

Colombia, Ministerio del Trabajo. (2019b). Resolución 5018, por la cual se establecen lineamientos en Seguridad y Salud en el trabajo en los Procesos de Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización de la Energía Eléctrica (noviembre 20). https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_mtra_5018_2019.htm

Colombia, Presidencia de la República. (1994). Decreto 1295, por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales (junio 22). http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_1295_1994.html

Colombia, Presidencia de la República. (2015a). Decreto 1072, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo (mayo 26). https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30019522

Colombia, Presidencia de la República. (2015b). Decreto 1886, por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas (septiembre 21). https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_1886_de_2015.pdf

Colombia, Presidencia de la República. (2015c). Decreto 1073, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía (mayo 26). https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77887

Colombia, Presidencia de la República. (2022a). Decreto 539 del 2022, por el cual se expide el Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto (abril 8). https://www.anm.gov.co/decreto-numero-539-de-8-de-abril-2022

Colombia, Presidencia de la República. (2022b). Decreto 944, por el cual se modifica el Decreto 1886 de 2015 (junio 1). https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=124217

Colombia, Presidencia de la República. (2025). Decreto 0875, por el cual se adiciona la sección 6 al capítulo 1, título V, parte 2, libro 2 del Decreto 1073 de 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, en relación con la creación del Sistema Nacional de Seguridad Minera - SNSM contenido en el artículo 24 de la Ley 2250 de 2022 (julio 31). https://camacol.co/sites/default/files/descargables/DECRETO%20MINMINAS%20NACIONAL%200875%20DE%20JULIO%20DE%202025.pdf

Consejo Colombiano de Seguridad (2025). *Informe siniestralidad laboral en Colombia año 2024.* https://ccs.org.co/observatorio/assets/boletin_fasecolda/67f54ebbcab3f.pdf

Consejo Nacional de Técnicos Electricista (CONTE). (2025a). *Acuerdos.* https://www.conte.org.co/transparencia/acuerdos/#261-261-top

Consejo Nacional de Técnicos Electricista (CONTE). (2025b). *Consultar matrícula.* https://solicitudmatricula.conte.org.co:8080/consulta-matricula

Consejo Nacional de Técnicos Electricista (CONTE). (2025c). *Matrícula profesional por primera vez*. https://www.conte.org.co/tramites/matricula-profesional/

Consejo Profesional Nacional de Ingeniería (COPNIA). (s. f.). *Autenticación de certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios.* https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart

Consejo Profesional Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines. (2024). *Matrícula profesional.* https://www.consejoprofesional.org.co/matricula-profesional/74/

Consejo Profesional Nacional de Tecnólogos en Electricidad, Electromecánica, Electrónica y Afines (CONALTEL). (2021). *Consulta de matriculados.* https://conaltel.org/consulta-de-matriculados/

Floyd, T. (2007). *Principios de circuitos eléctricos* (8.ª ed.). Pearson.

Hooli, J. y Halim, A. (2025). Battery electric vehicles in underground mines: Insights from industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. 208,* 115024. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115024

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2018). IEEE 1584. Guide for performing arc-flash hazard calculations. https://standards.ieee.org/ieee/1584/5802/

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2012). *Guía Técnica Colombiana GTC 45 - Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional.* https://tienda.icontec.org/product/guia-para-la-identificacion-de-los-peligros-y-la-valoracion-de-los-riesgos-en-seguridad-y-salud-ocupacional/

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2020). *NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano. Segunda actualización.* https://asieb.com/wpcontent/uploads/2024/10/NTC_2050_codigo_electrico_nacional.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2022). *NTC 6057:2022. Cables portátiles y de alimentación de potencia para uso en minas y aplicaciones similares.* https://tienda.icontec.org/gp-ntc-cables-portatiles-y-de-alimentacion-de-potencia-para-uso-en-minas-y-aplicaciones-similares-ntc6057-2022.html

International Electrotechnical Commission (IEC). (2002). IEC 62262. Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code). https://webstore.iec.ch/en/publication/6673

International Electrotechnical Commission (IEC). (2013). IEC 60529 Consolidated version. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). https://webstore.iec.ch/en/publication/2452

International Electrotechnical Commission (IEC). (2014). IEC 61557-8. Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1000 V AC and 1500 V DC - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems. https://webstore.iec.ch/en/publication/5582

International Electrotechnical Commission (IEC). (2015). IEC 60079-10-2. Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas - Explosive dust atmospheres. https://webstore.iec.ch/en/publication/623

International Electrotechnical Commission (IEC). (2017). IEC 60079-0. Explosive atmospheres – Part 0: Equipment - General requirements. https://webstore.iec.ch/en/publication/32878

International Electrotechnical Commission (IEC). (2018). IEC 60900. Live working - Hand tools for use up to 1000 V AC and 1500 V DC. https://webstore.iec.ch/en/publication/27266

International Electrotechnical Commission (IEC). (2020a). IEC 60079-10-1. Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres. https://webstore.iec.ch/en/publication/63327

International Electrotechnical Commission (IEC). (2020b). Ingress protection (IP) ratings guide. https://www.iec.ch/basecamp/ingress-protection-ip-ratings-guide

International Electrotechnical Commission (IEC). (2025a). IEC 60204 Series. Safety of machinery - Electrical equipment of machines - ALL PARTS. https://webstore.iec.ch/en/publication/1026

International Electrotechnical Commission (IEC). (2025b). IEC 60417. Graphical symbols for use on equipment. https://webstore.iec.ch/en/publication/2098

International Organization for Standardization. (ISO). (2019a). ISO 7010:2019. Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs. https://www.iso.org/standard/72424.html

International Organization for Standardization. (ISO). (2019b). ISO 80079-36:2016/Cor 1:2019. Explosive atmospheres — Part 36: Non-electrical equipment for explosive atmospheres — Basic method and requirements. https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/00/80066.html

National Fire Protection Association (NFPA). (2023). NFPA 70. Código Eléctrico Nacional. https://www.nfpa.org/es/product/nfpa-70-code/p0070code/variant/7023sbe#detalles-de-la-edici%C3%B3n-2023

National Fire Protection Association (NFPA). (2024a). NFPA 70E. Standard for Electrical Safety in the Workplace®. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-70e-standard-development/70e

National Fire Protection Association (NFPA). (2024b). NFPA 77. Práctica Recomendada de Electricidad Estática. https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-77-standard-development/77

National Fire Protection Association (NFPA). (2024c). NFPA 497. Práctica recomendada para la clasificación de líquidos, gases o vapores inflamables y de áreas peligrosas (clasificadas) para instalaciones eléctricas en áreas de procesamiento químico. https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-497-standard-development/497

National Fire Protection Association (NFPA). (2024d). NFPA 499. Práctica recomendada para la clasificación de polvos combustibles y de áreas peligrosas (clasificadas) para instalaciones eléctricas en áreas de procesamiento químico. https://www.nfpa.org/es/codes-and-standards/nfpa-499-standard-development/499

Nolan, D. (2015). *Safety and security review for the process industries. Application of HAZOP, PHA, What-If and SVA Reviews* (4.ª ed.). Gulf Professional Publishing. https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9780323322959/safety-and-security-review-for-the-process-industries#about-the-book

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (1994). Directiva 94/9/CE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (abril 19). https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1994-80530

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (1999). Directiva 1999/92/CE, relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas (enero 28). https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-80109

Stamatis, D. (2003). *Failure mode effect analysis: FMEA from theory to execution* (2.ª ed.). American Society for Quality. https://books.google.com.co/books?id=TTxI8jbTkVwC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Stefan, H., Mortimer, M., Horan, B. y McMillan, S. (2024), How effective is virtual reality for electrical safety training? Evaluating trainees' reactions, learning, and training duration. *Journal of Safety Research, 90,* 48-61. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.06.002



Guía Técnica para la Gestión del Riesgo Eléctrico en Minería Subterránea

Contrato Interadministrativo ANM-701-2025

Agencia Nacional de Minería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA