

Plan Nacional de Educación Multimodal en SST 2026

Talentos que **hacen país**

Comunidad Nacional de Conocimiento en

Prevención de Peligros en el Sector Minería

Talentos que **hacen país**



SESIÓN 4: DESARROLLO TECNOLÓGICO EN EL SOSTENIMIENTO DE MINAS



JOSÉ ALFREDO GUÍO GARZON

COMUNIDAD NACIONAL DE CONOCIMIENTO EN PREVENCIÓN DE PELIGROS EN EL SECTOR MINERÍA



josealfredog@hotmail.com



3108717198

Perfil profesional:

Ingeniero en Minas, experiencia de 35 años en Minería
Especialista en salud Ocupacional y protección de Riesgos Laborales
Magister en Seguridad y Salud en el trabajo, experiencia de 23 años en SST
Entrenador Ludico Internacional en SST
Entrenador en labores mineras Bajo tierra
Auditor interno ISO 9001, 14001, 18001, 45000
Experto en ventilación de minas Subterráneas



Ruta del conocimiento

01

SESIÓN 1:
NORMATIVIDAD
ACTUALIZADA EN SST EN
EL SECTOR MINERO - AÑO
2026

02

SESIÓN 2:
MEDICIONES AMBIENTALES A
DESARROLLAR EN EL SECTOR
MINERO PARA PREVENCIÓN
DE ENFERMEDADES
LABORALES

03

SESIÓN 3:
SISTEMAS DE VENTILACIÓN
DE MINAS INTELIGENTES

04

SESIÓN 4:
DESARROLLO TECNOLÓGICO
EN EL SOSTENIMIENTO DE
MINAS

05

SESIÓN 5:
HACIA UNA MINERÍA A CIELO
ABIERTO CON ALTA
TECNOLOGÍA - DECRETO
0539/2022

Ruta del conocimiento



06

SESIÓN 6:
SISTEMAS DE TRANSPORTE
PARA MINERÍA
INTELIGENTES



07

SESIÓN 7:
INVESTIGACIÓN DE
ACCIDENTES DE TRABAJO
CON EL APOYO DE
INTELIGENCIA ARTIFICIAL



08

SESIÓN 8:
MONITOREO CONTINUO -
APUESTA HACIA EL
DESARROLLO TECNOLÓGICO
MINERO



09

SESIÓN 9:
CONTROL DE ATMÓSFERAS
EXPLOSIVAS Y TÉCNICAS DE
INERTIZACIÓN DE MINAS



suma 5.0



Evaluémonos



“Un sostenimiento adecuado asegura la excavación y protege la vida de tu equipo”

“La roca no avisa: asegura, desabomba, sostiene y acuña antes de avanzar..”

Jagg.

Contenido

- 01. Introducción
- 02. Análisis de accidentalidad Minera..
- 03. Sistemas de Sostenimiento de minas
- 04. Innovaciones tecnológicas



01.

Dar a conocer las principales estadísticas de accidentalidad Minera en Colombia.

02.

Dar a conocer los diferentes sistemas de Sostenimiento en minería subterránea en Colombia.

03.

Dar a conocer las diferentes innovaciones tecnológicas existentes en Sostenimiento de minas.

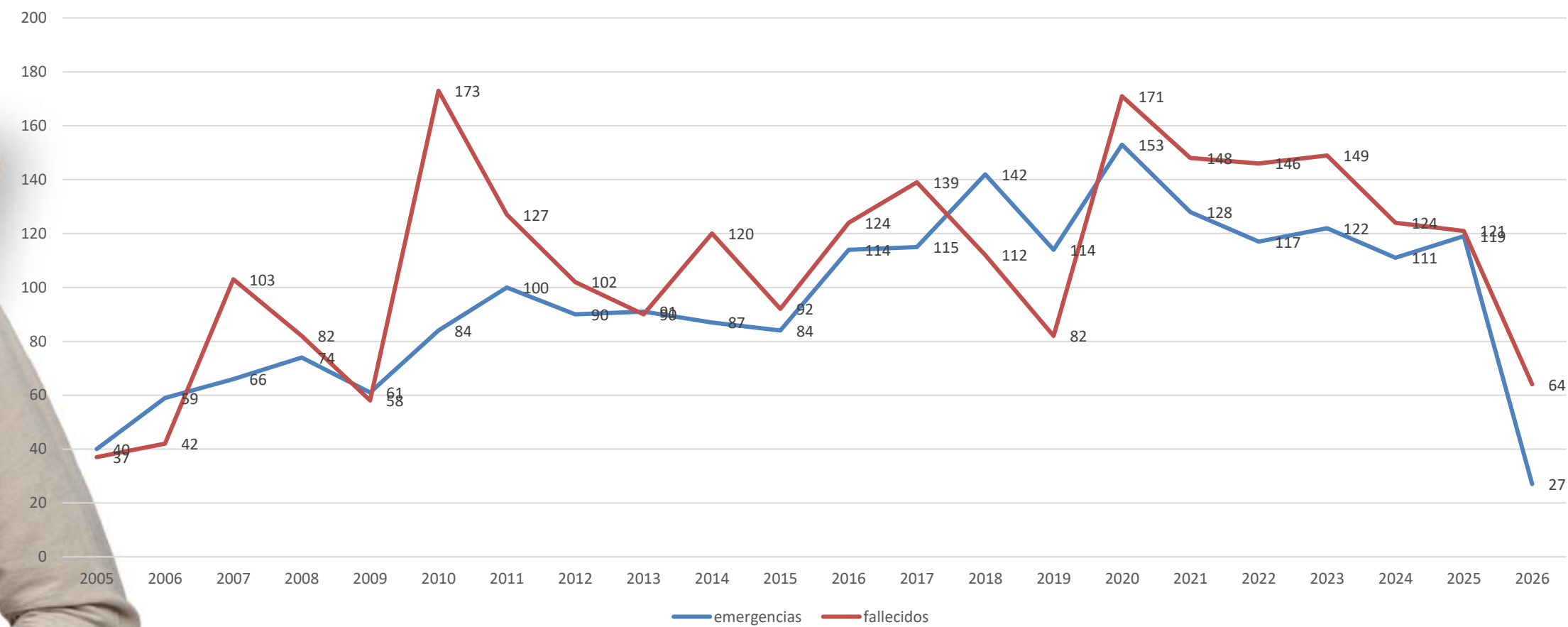
Objetivo



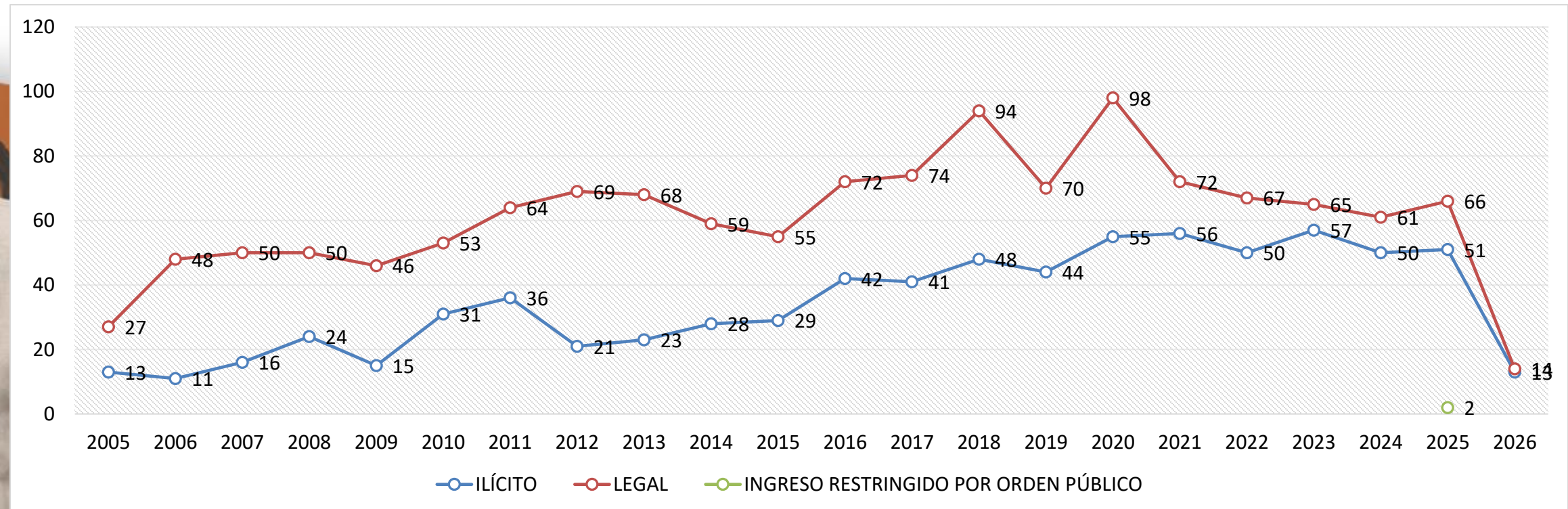
Fatalidades a 12/05/2026



Accidentes y Emergencias a 12/05/2026



Fatalidades a 12/05/2026



Legales vs Ilegales.

INDICADORES

COMPORTAMIENTO DE LA SINIESTRALIDAD EN ORO EN PERÍODO 2021 - 2025

| AÑO | TRABAJADORES EN ORO EN EL PERÍODO S/N DANE | FALLECIDOS EN EL PERÍODO | TASA DE MORTALIDAD EN LA VIGENCIA POR C/100000 |
|------|--|--------------------------|--|
| 2021 | 123.930 | 39 | 31,47 |
| 2022 | 141.504 | 34 | 24,03 |
| 2023 | 130.419 | 32 | 24,54 |
| 2024 | 144.223 | 32 | 22,19 |
| 2025 | 168.815 | 33 | 19,55 |

| AÑO | TRABAJADORES EN CARBON | FALLECIDOS EN PERÍODO | tasa de mortalidad |
|------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| 2021 | 55027 | 96 | 174,46 |
| 2022 | 59201 | 106 | 179,05 |
| 2023 | 59530 | 115 | 192,86 |
| 2024 | 67717 | 88 | 129,95 |
| 2025 | 53946 | 79 | 146,44 |



CONTENIDO DE LA PRESENTACIÓN.

- Fundamentos del Sostenimiento en Minería Subterránea.
- Evaluación Geomecánica y Clasificación de Macizos.
- Sistemas Tradicionales de Sostenimiento.
- Tecnologías Modernas: Pernado, Shotcrete y Marcos.
- Monitoreo e Instrumentación Geotécnica.
- Sistemas Inteligentes y Digitalización



OBJETIVO DEL SOSTENIMIENTO

Contrarrestar las tensiones inducidas por la excavación y evitar colapsos de roca o carbón.

¿QUÉ ES EL SOSTENIMIENTO?

Conjunto de medidas técnicas destinadas a mantener la estabilidad de las excavaciones subterráneas y garantizar la seguridad del personal, los equipos y la continuidad operativa.

CUANDO SE DEBE INSTALAR.

Inmediatamente después del avance del frente. El tiempo de respuesta es crítico y se debe realizar inmediatamente..

ENFOQUE ACTUAL.

Pasar de sostenimiento reactivo (reparar) a preventivo (predecir y actuar antes de la falla).

MECANISMOS DE FALLA EN EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

Spalling / Astillamiento, desprendimiento del material.

Desprendimiento o descascaramiento del material superficial por tensiones de compresión en paredes y techo. Frecuente en macizos competentes bajo alta presión.

Estallido de Roca

Liberación violenta de energía elástica almacenada. Peligro extremo para el personal. Controlado con sostenimiento energía-absorbente.

Presión de Montaña

Deformaciones plásticas progresivas en carbón y estéril blando. Genera convergencia de la sección pérdida de vía.

Cuñas y Bloques

Caída de bloques definidos por planos de discontinuidad. Identificación mediante análisis estereográfico.

Flujo Plástico

Materiales arcillosos o carbonosos saturados fluyen hacia la excavación. Critico en zonas de falla geológica.

Falla por Agua

Inrush: Ingreso subitoy descontrolado de material o debilitamiento de la matriz rocosa por saturación. Interacción agua-roca afecta gravemente la cohesión.

Principales peligros que se presentan por falta de sostenimiento.

EN EL AVANCE DE LABORES DE DESARROLLO:
GUIAS, TUNELES

Caída de rocas por espacio vacío generado

GOLPES DE TECHO

EN LAS LABORES DE EXPLOTACIÓN,
DESCUÑES

EN EL AVANCE DE LABORES DE PREPARACIÓN:
TAMBORES, DIAGONALES

CIERRE DE LABORES

EN LABORES CON SOSTENIMIENTO INSTALADO
EN TIEMPO ANTERIOR



PARÁMETROS CLAVE PARA EL DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO

Estado tensional in situ

Medición de tensión vertical y horizontal mediante ensayos de fracturamiento hidráulico o overcoring. Ratio $K_0 = \sigma_H / \sigma_V$ determina el régimen de carga.

Estructura geológica

Mapeo de discontinuidades: familias de juntas, fallas, contactos litológicos. Rosetas de dirección y buzamiento. Análisis estereográfico.

Geometría de la excavación

Sección transversal, vano libre, longitud del tramo sin sostener (stand-up time). Factor determinante en la carga sobre el sistema.

Propiedades de la roca

UCS, módulo de Young (E), coeficiente de Poisson (ν), cohesión (c) y ángulo de fricción (ϕ). Base para modelos numéricos.

Hidrogeología

Nivel freático, presiones de poro, permeabilidad de la roca. Afecta cohesión efectiva y estabilidad de frentes de avance.

Tiempo de autoaporte

Tiempo que una excavación mantiene estabilidad sin sostenimiento. Función del RMR/Q. En Clase V puede ser minutos.

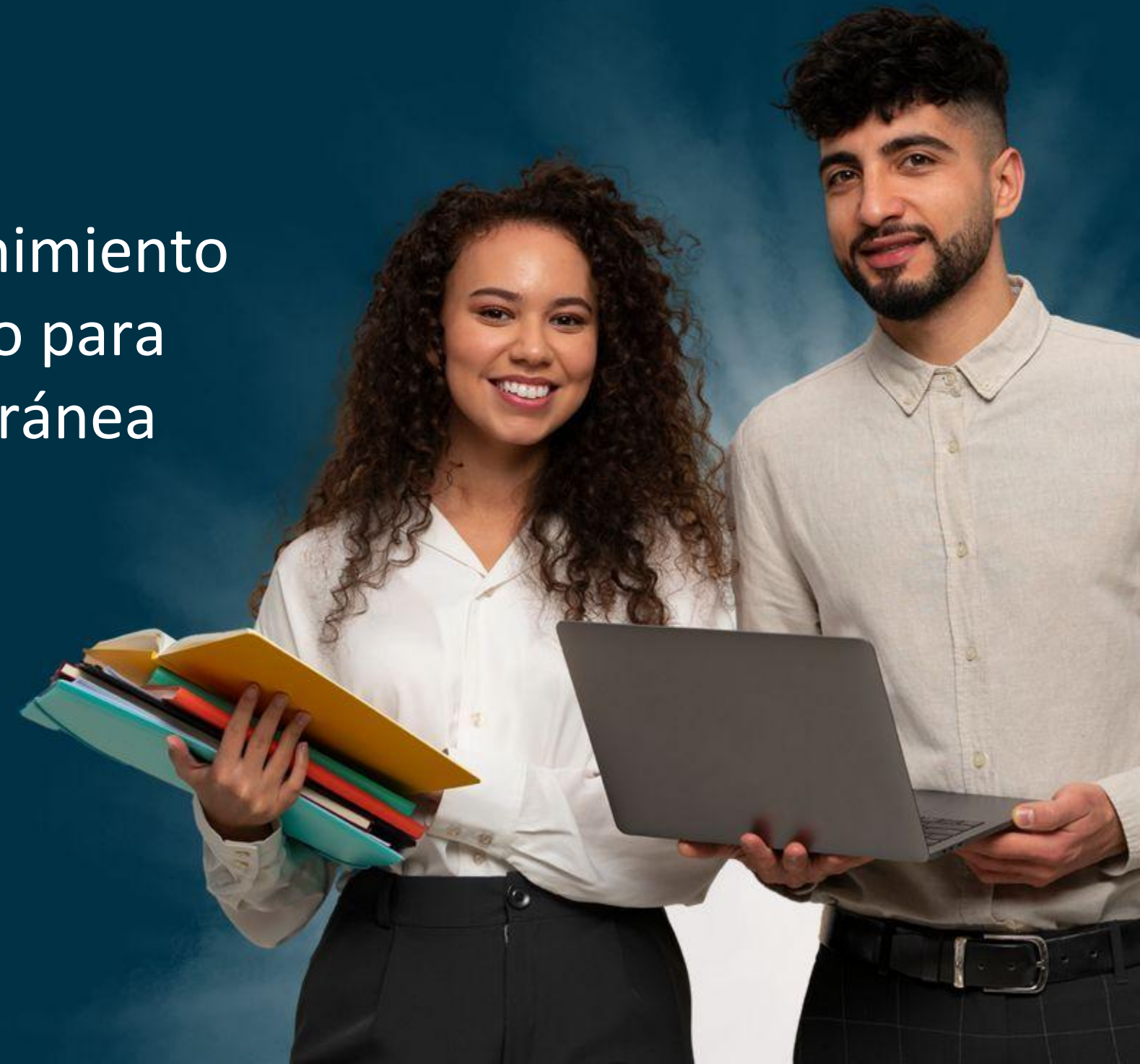


Sistemas Tradicionales de Sostenimiento

Madera (diferentes cortes), mampostería y uso de acero, marcos metálicos, arcos de acero.

Tecnologías Modernas: Pernos de anclaje (Bulonado), Shotcrete y Marcos Activos

Sistemas de sostenimiento activo y compuesto para minería contemporánea



PERNADO-BULONADO DE ROCAS — Rock Bolting

PRINCIPIO: El perno-bulón transforma la roca de carga en soporte — convierte un macizo fragmentado en una viga o arco compuesto que se auto-soporta.

Bulón de expansión mecánica

Anclaje por expansión de cuña metálica. Instalación rápida. Uso inmediato post-disparo. Capacidad: 10-15 t.

Bulón cementado (lechada)

Cementado con lechada de cemento. Más económico. Instalación en 2 etapas. Resistencia: 15-25 t.

Split Set / Swellex

Fricción directa contra la pared del taladro. Instalación muy rápida. Para rocas duras con baja presión de montaña.

Bulón de resina (resin bolt)

Anclaje total con resina poliéster o epoxi. Alta capacidad (>20 t). Mejor para macizos fracturados.

Bulón con cable (cable bolt)

Cables de acero de alta resistencia. Para zonas de gran abertura y alta carga (>3 m de cobertura).

Bulón con placa y malla

Sistema compuesto: bulón + placa metálica + malla electrosoldada. Controla desagregación superficial.



CONCRETO PROYECTADO (SHOTCRETE)

Vía Seca vs. Vía Húmeda

| Característica | Vía Seca | Vía Húmeda |
|----------------------|-------------|---------------------|
| Polvo generado | Alto | Bajo ✓ |
| Desperdicio (rebote) | 15-25% | 5-10% ✓ |
| Control w/c | Operador | Automatizado ✓ |
| Limpieza del equipo | Más fácil ✓ | Requiere más tiempo |
| Producción | Baja-media | Alta ✓ |
| Costo equipo | Menor ✓ | Mayor |

Parámetros técnicos clave

Resistencia (fc'): 25 – 35 MPa
(28 días)

Espesor típico: 50 – 200 mm
Libre de álcali
(≤2%)

Acelerante: dosificación)

Fibras de acero: 25 – 60
kg/m³ (SFERS)

Fibras poliméricas: 1 – 3 kg/m³
(control de fisuras)

Adherencia: Mín. 0.5 MPa
sobre roca
limpia

🏆 Shotcrete reforzado con fibra de acero (SFERS) es el estándar en túneles de alta complejidad. En minería de carbón, combinar con malla electrosoldada y bulones para sostenimiento compuesto.



SISTEMAS COMPUESTOS INTEGRADOS

CAPA 1 **Shotcrete** **primario**

20-50 mm
inmediatamente
post-avance.
Sella la roca,
evita
desintegración.

CAPA 2 **Pernos de** **anclaje**

Instalados en
patrón de 1.0-1.5
m. Anclan la zona
de relajación al
macizo
competente.

CAPA 3 **Malla** **electrosoldada**

Control de
fragmentos entre
bulones. Malla
100×100×5 mm
como mínimo.

CAPA 4 **Shotcrete final**

50-150 mm
sobre malla. Crea
arco resistente
integrado con el
macizo.

¿Por qué el sistema compuesto es superior?

✓ **Adaptable:** compatible con
geometría de excavación

✓ **Controlable:** permite instalar
instrumentación de monitoreo
integrada





Monitoreo e Instrumentación Geotécnica

Extensómetros, convergenciómetros,
sensores de carga y telemetría

INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA EN SOSTENIMIENTO

Convergiómetro

Mide acortamiento del área de la excavación. Lecturas diarias en frente activo, semanales en zona estable. Alerta si convergencia > 2-5% del diámetro.

Extensómetro de varilla

Varillas ancladas a diferentes profundidades miden desplazamiento relativo de capas. Identifica zona de relajación real vs diseño.

🔌 Celda de carga en Pernos

Mide la fuerza real actuando sobre cada perno. Confirma que el pretensado se mantiene y detecta incremento de carga por presiones externas.

📊 Inclinómetro

Tubo con acelerómetros que mide desplazamientos laterales en perforaciones verticales u oblicuas. Detecta superficies de falla emergentes.

Emisión acústica (AE)

Micrófonos en la roca detectan microcraqueo. Sistema de alerta temprana ante estallido de roca o avance de frentes de falla.

Estación total robótica

Mide desplazamiento 3D de puntos reflectores instalados en la galería. Alta precisión (mm). Automatizable con lectura continua remota.



AVANCES TECNOLÓGICOS EN SOSTENIMIENTO



IoT Geotécnico

Sensores inalámbricos (LPWAN, LoRa) instalados en pernos y convergenciómetros. Transmisión en tiempo real a superficie sin cableado. Baterías de 3-5 años.



Gemelo Digital (Digital Twin)

Modelo 3D numérico de la mina que se actualiza con datos de sensores en tiempo real. Permite simular escenarios de carga y predecir zonas de falla antes de que ocurran.



Inteligencia Artificial y ML

Algoritmos de machine learning detectan patrones anómalos en miles de sensores simultáneos. Predicción de falla con 24-72 horas de anticipación. Aprendizaje continuo.



LiDAR y Escaneo 3D

Escáner láser portátil mapea la sección de la galería con precisión milimétrica. Detecta zonas de deformación invisible al ojo humano. Ciclo de escaneo: 15 minutos.



Drones Subterráneos

UAV equipados con cámara y sensores inspecciona zonas de difícil acceso (galerías abandonadas, tiros, zonas de derrumbe) sin exposición del personal.



Plataformas de Gestión

Software integrado (MineSight, Geovia, Maptek) centraliza datos geomecánicos, de sostenimiento y de personal. Tableros de control en tiempo real para supervisores.





IMPLEMENTACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

- **Monitoreo y Control avanzados.** El monitoreo y control avanzados son esenciales para garantizar la eficiencia y la seguridad en el sostenimiento en minería. Esto implica la utilización de tecnologías e instalación de sensores en sitios estratégicos dentro de la mina. Los datos recopilados se utilizan para controlar y ajustar los sistemas de sostenimiento en tiempo real. La capacidad de respuesta rápida a cambios en las condiciones del macizo rocoso es crítica para evitar incidentes.



CICLO DE GESTIÓN EN EL SOSTENIMIENTO DE MINAS

PLANEAR

- Caracterización geomecánica
- Selección del sistema de sostenimiento
- Plan de sostenimiento documentado
- Presupuesto de materiales y equipos

HACER

- Instalación según especificaciones técnicas
- Capacitación del personal minero
- Registro de instalación (diagramas)
- Control de calidad de materiales

VERIFICAR

- Monitoreo de convergencia y cargas
- Inspecciones sistemáticas periódicas
- Análisis de desviaciones vs. diseño
- Revisión de incidentes y cuasi-accidentes

ACTUAR

- Refuerzo en zonas con deformación anormal
- Actualización del Plan de Sostenimiento
- Lecciones aprendidas documentadas
- Mejora continua del sistema

⚠ LECCIONES APRENDIDAS — Fallas de Sostenimiento en Carbón

Falla por omisión de Plan de Sostenimiento

📌 Causa: Mina inicia labores sin caracterización geomecánica. Sistema de sostenimiento empírico basado en experiencia del minero.

✨ Consecuencia: Derrumbe súbito en zona de falla geológica no identificada. Víctimas por aplastamiento.

✅ **Acción preventiva: Plan de Sostenimiento es documento legal OBLIGATORIO antes de iniciar labores (Decreto 1886 Art.77).**

Instalación tardía post-avance

📌 Causa: Frente de excavación avanza sin instalar sostenimiento inmediato. Se 'deja para el turno siguiente'.

✨ Consecuencia: Caída de bloques en zona de stand-up time superado. Zona de relajación ya en colapso.

✅ **Acción preventiva: El sostenimiento debe instalarse antes de que el trabajador abandone el frente. Regla de oro: sin sostenimiento, no hay acceso.**






Deterioro del sostenimiento existente

📌 Causa: Marco de madera podrido no reemplazado. Bulones corroídos sin verificación de carga. No hay registro de inspecciones.

✨ Consecuencia: Colapso progresivo que desencadena derrumbe en cadena en galería de más de 20 m.

✅ **Acción preventiva: Programa de inspección periódica documentada es mandatorio. Tasa de reemplazo planificada según vida útil del material.**

Conclusiones.

-  El sostenimiento efectivo comienza con datos geomecánicos — sin caracterización no hay diseño.
-  Los sistemas modernos (pernos + shotcrete) superan ampliamente la madera y los marcos simples.
-  El monitoreo continuo es parte integral del sistema, no una opción adicional.
-  El monitoreo continuo es parte integral del sistema, no una opción adicional.
-  La digitalización y el IoT son el próximo paso para la minería colombiana segura.

Bibliografías

- AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA ESTADÍSTICAS
- LEY 9 DE 1979
- DECRETO 2490 DE 1979
- Ministerio de Minas y Energía 2015-2026.
- Ministerio del trabajo 1979-2026
- Ministerio de Salud 2000-2026.
- Administradoras de riesgos Laborales. 2026
- Estudio de Calidad del aire de las minas en Colombia, 2026

<https://rockwellautomation.scene7.com/is/image/rockwellautomation/allen-bradley-variable-frequency-drives-vfds-industrial-automation-smart-motor-control.3719.png>

Source: www.rockwellautomation.com

https://i.ytimg.com/vi/-UN6vjsX4nM/hq720.jpg?sqp=-oaymwEhCK4FEIIDSFRyq4qpAxMIARUAAAAAGAEIAADIQj0AgKJD&rs=AO4n4CLDcuTb54k-_guiJA72zvgBt3ZzaFA

Source: www.youtube.com

<https://mlsyamblqynx.i.optimole.com/cb:iSPV.9301/w:800/h:450/q:mauto/f:best/https://vuwall.com/wp-content/uploads/Mining-Control-Room.png>

Source: vuwall.com

<https://minearc.com/wp-content/uploads/2021/04/Digital-Gas-Monitoring-For-Underground-Environments.png>

Source: minearc.com

<https://www.hseblog.com/wp-content/uploads/2026/05/Atmospheric-Hazards-Ventilation-Must-Manage.webp>

Source: www.hseblog.com

Evaluémonos



Preguntas



Recuerda que Positiva tiene para ti:



posipedia

<https://www.posipedia.com.co/>



Cursos virtuales



Artículos



Audios



Juegos digitales



OVAs



Guías



Mailings



Videos



¿Quieres profundizar tus conocimientos y potenciar tus competencias en SST?

¡Capacítate y fortalece la seguridad de tu empresa!

CURSOS

**VIRTUALES SG-SST
DE 50 Y 20 HORAS**

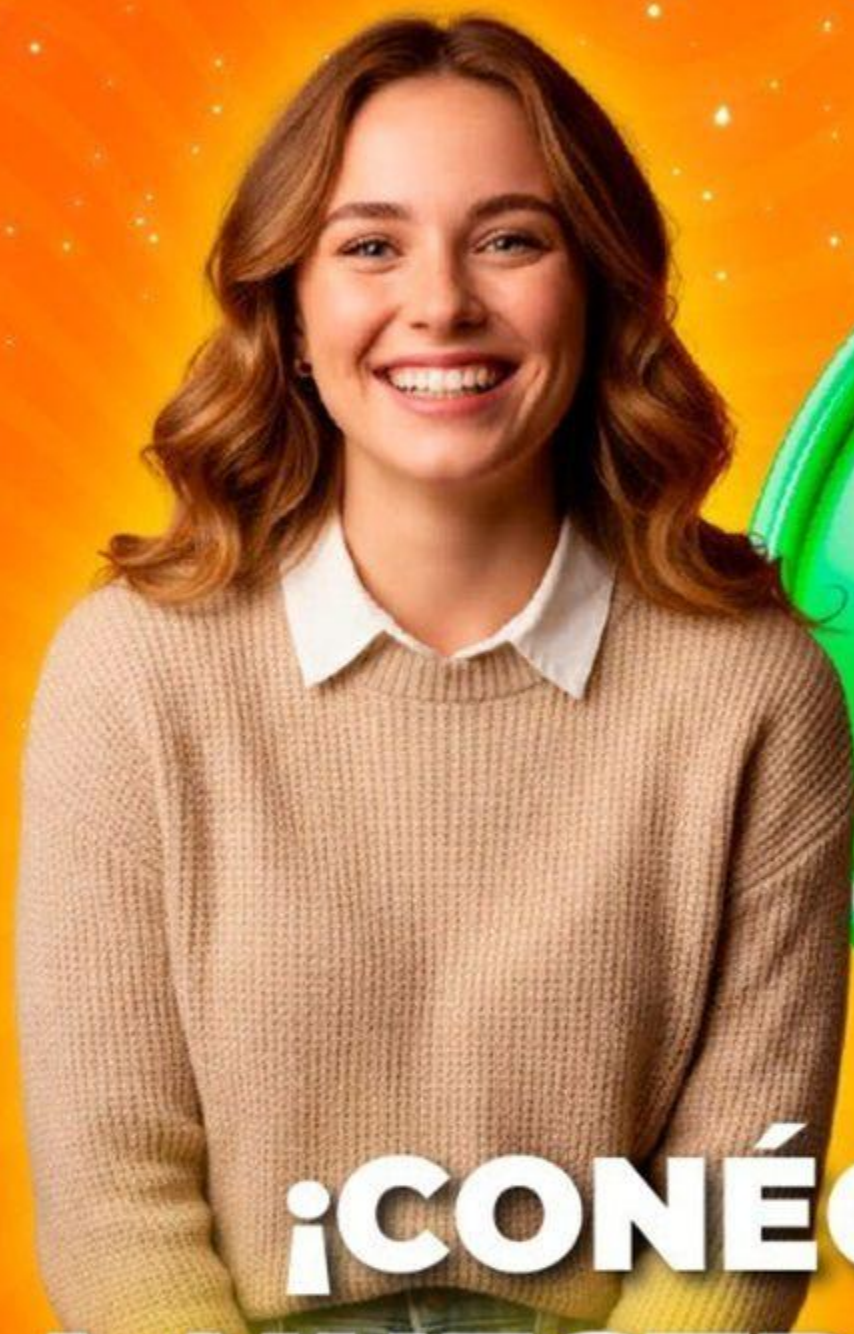
Escanea e insíbete



Para trabajadores de todas las empresas, áreas y sectores.

¡TE ESPERAMOS!





**¡CONÉCTATE
A NUESTRO CANAL
de WhatsApp!**

POSITIVA PREVENCIÓN



Descubre campañas, novedades y tips en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) que te ayudarán a fortalecer tu bienestar y la cultura de prevención laboral.

**¡Únete y sé parte de la
comunidad de Positiva!**

¡Síguenos en nuestra COMUNIDAD EDUCATIVA!



Escanea el código QR para entrar
a nuestro Canal de Whatsapp