



El empleo  
es de todos

Mintrabajo

# GESTIÓN DEL RIESGO GEOMECÁNICO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

JUAN J. MONSALVE  
MINING AND MINERALS ENGINEERING DEPARTMENT  
VIRGINIA TECH

THE DEPARTMENT OF MINING & MINERALS ENGINEERING  
AT VIRGINIA TECH





# CONTENIDO

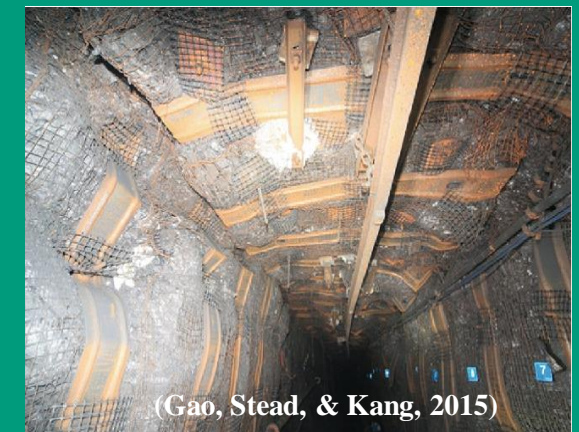
1. ACCIDENTES GEOMECÁNICOS EN COLOMBIA
2. MARCO NORMATIVO COLOMBIANO
3. REFERENTES INTERNACIONALES
4. MEJORES PRÁCTICAS: PLANES DE GESTIÓN DE CONTROL GEOMECÁNICO
5. INICIATIVA: DECÁLOGO PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES POR CAUSAS GEOMECÁNICAS
6. CONCLUSIONES
7. REFERENCES



# ACCIDENTES GEOMECÁNICOS

Los accidentes geomecánicos son aquellas lesiones o muertes causadas por la inestabilidad del terreno (Macizo Rocos). Dentro de las diferentes formas de inestabilidad que puede presentar el terreno están incluidas:

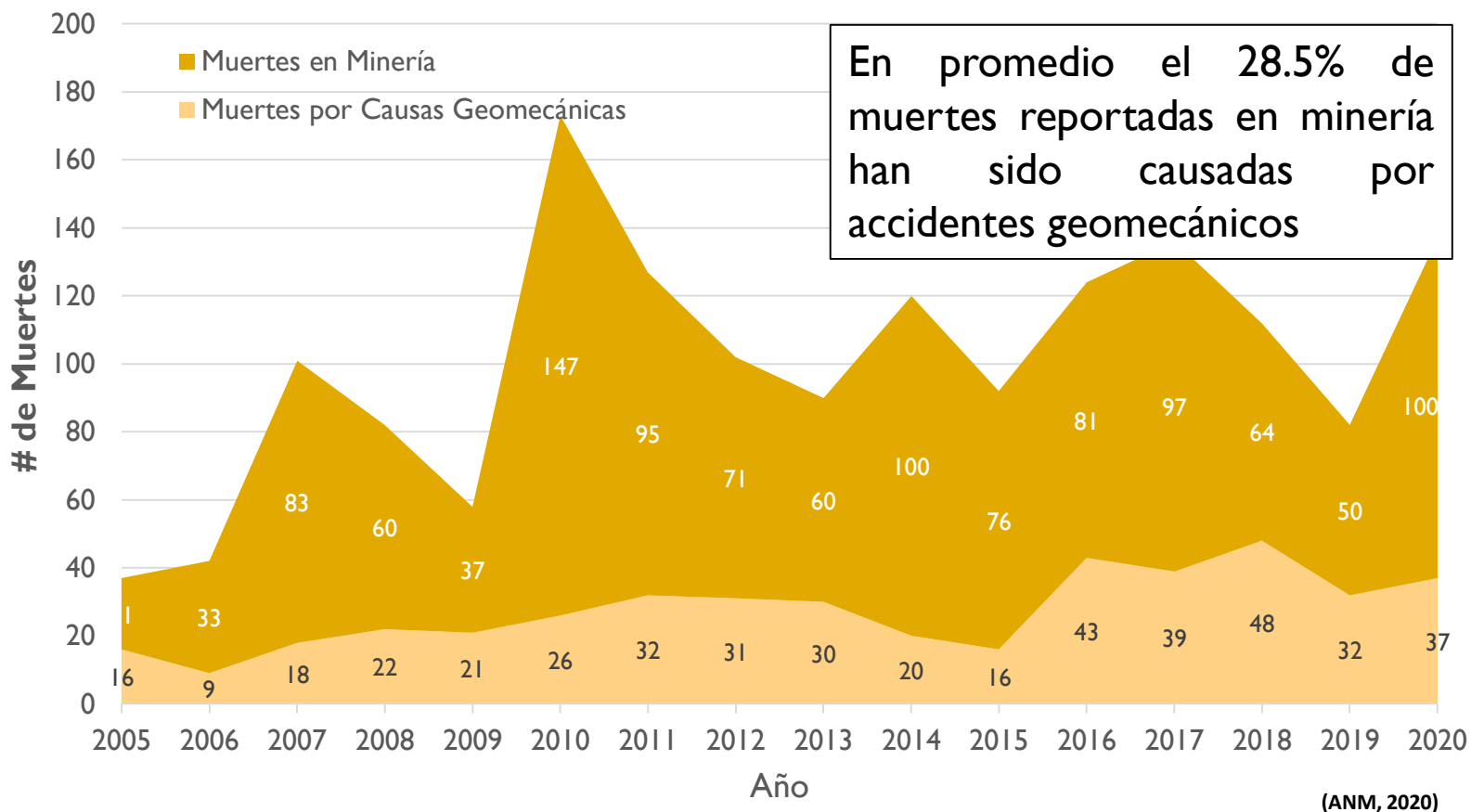
- Derrumbe
- Caída de bloques de roca
- Estallido de roca
- Deformaciones excesivas
- Influjo de agua
- Colapso de los elementos de soporte





# PANORAMA DE ACCIDENTES GEOMECÁNICOS EN COLOMBIA

### Muertes reportadas en Emergencias Mineras



## Atención que tres personas están atrapadas en una mina de carbón de Tuta

octubre 20, 2020

Un derrumbe ocurrido a las 10:00 de la mañana de este martes mantiene aislados a tres mineros en un socavón. Solo hasta las 6:30 de la tarde dieron aviso a Salvamento Minero de la Agencia Nacional de Minería (ANM).



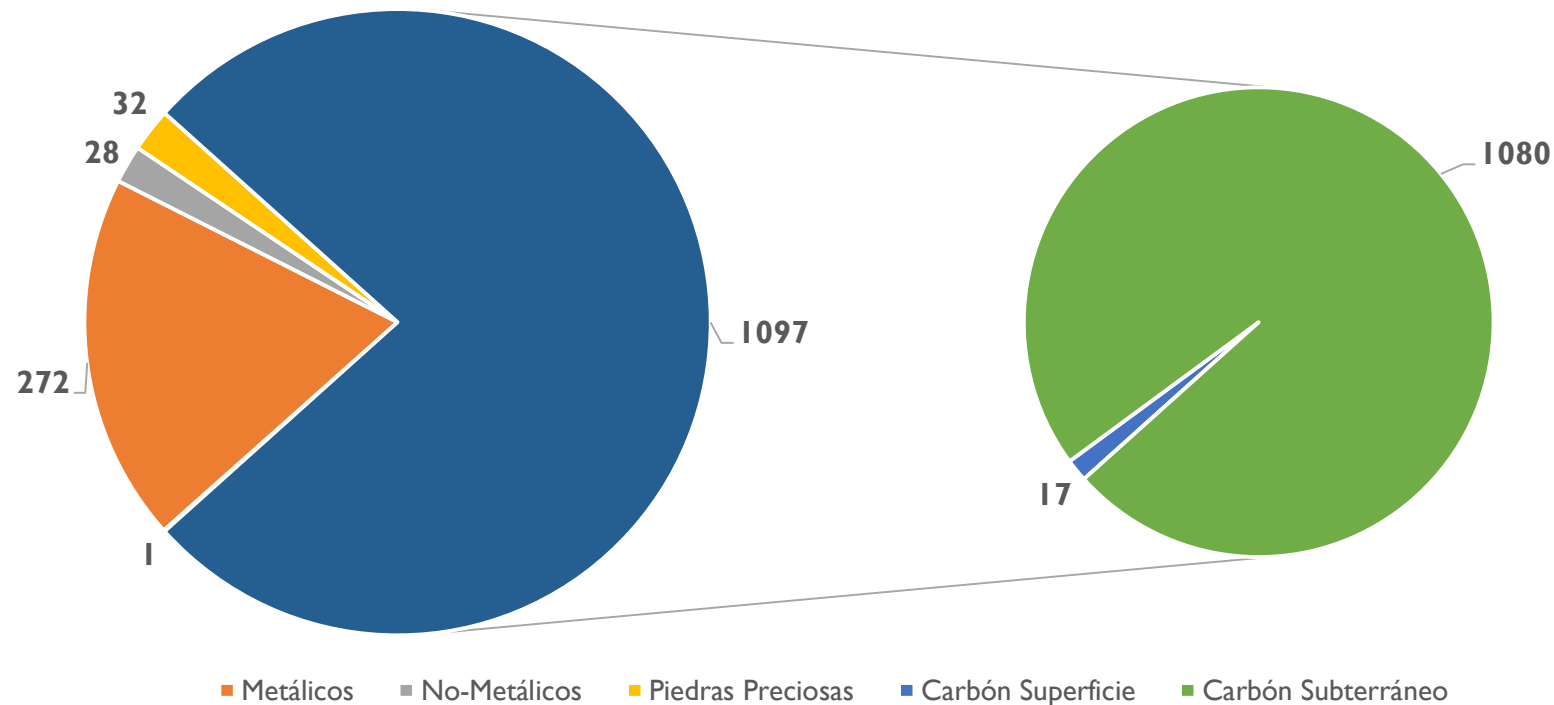
<https://boyaca7dias.com.co/2020/10/20/atencion-que-tres-personas-estan-atrapadas-en-una-mina-de-carbon-de-tuta/>

\*Con corte al 18 de Octubre de 2020



# PANORAMA DE ACCIDENTES GEOMECÁNICOS EN COLOMBIA

## Emergencias por tipo de Mineral desde 2005 Hasta 2020\*

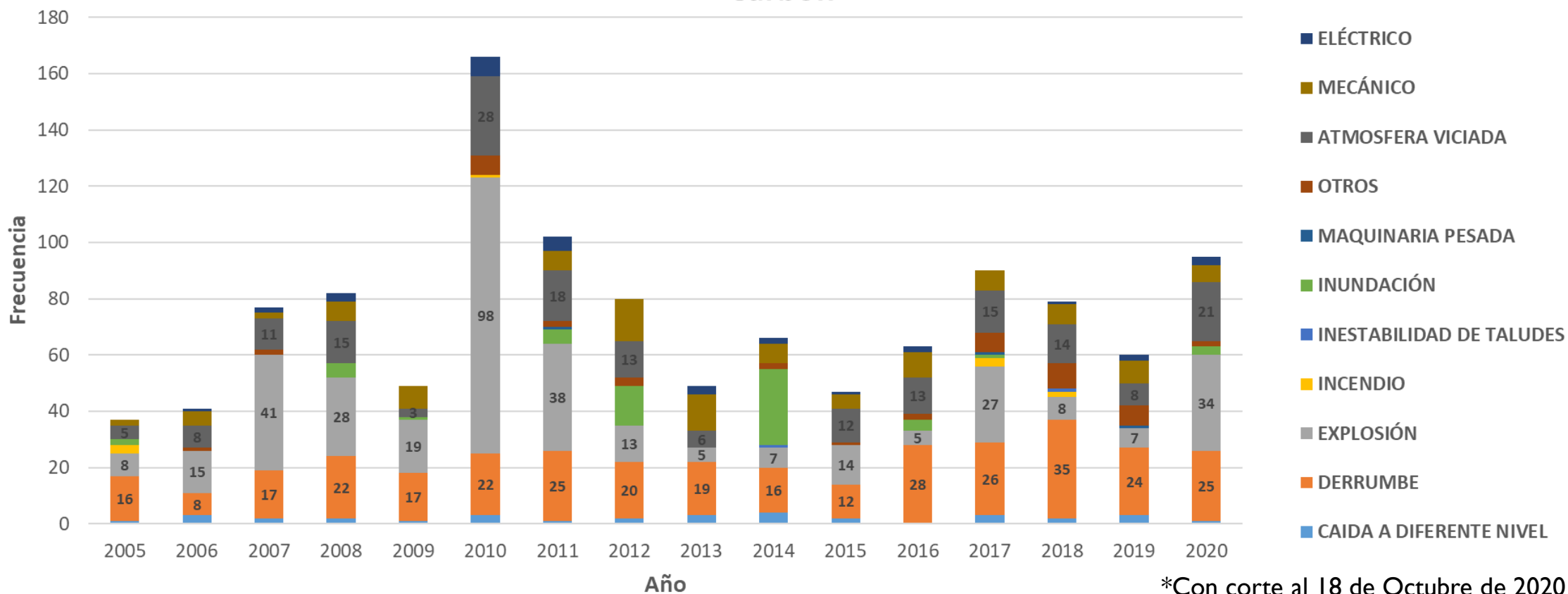


\*Con corte al 18 de Octubre de 2020



# PANORAMA DE ACCIDENTES GEOMECÁNICOS EN COLOMBIA

## Fatalidades por Tipo de Accidente entre 2005 y 2020\* Carbón

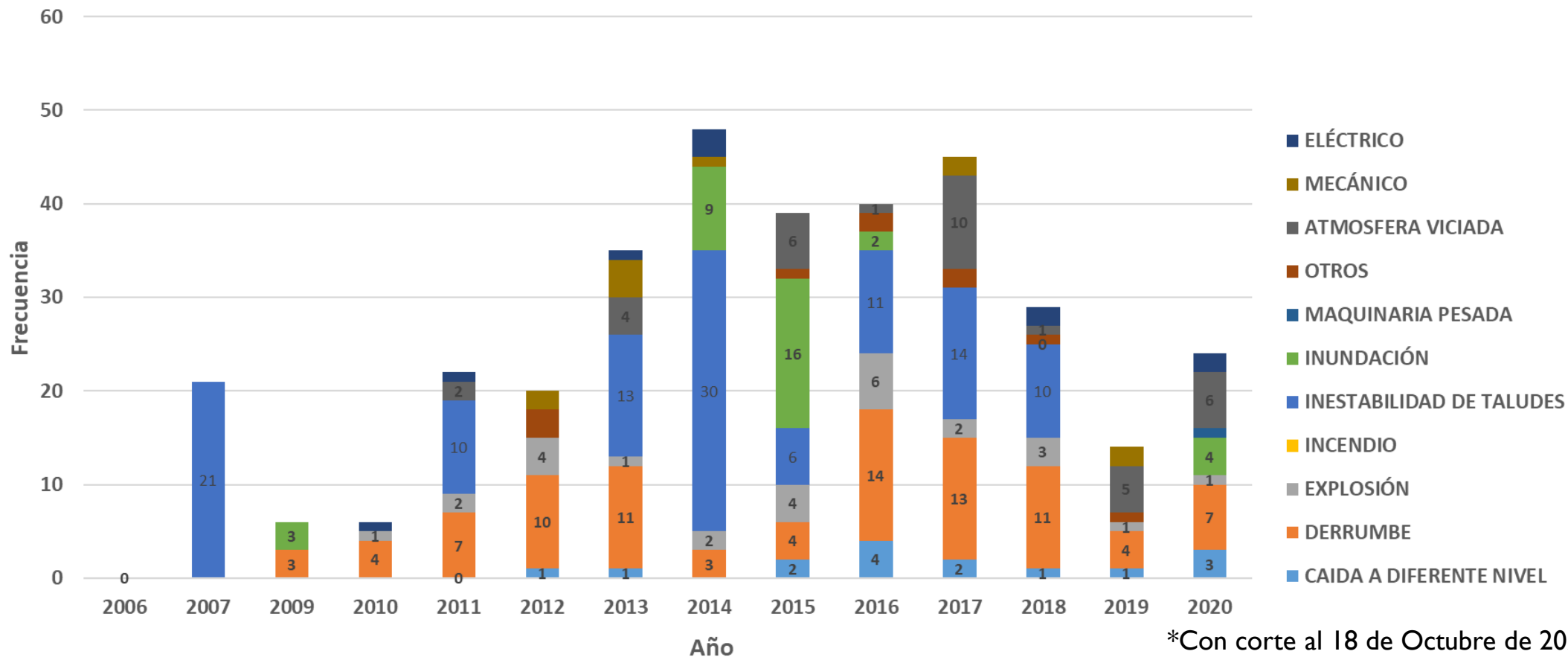


\*Con corte al 18 de Octubre de 2020



# PANORAMA DE ACCIDENTES GEOMECÁNICOS EN COLOMBIA

## Fatalidades por Tipo de Accidente entre 2005 y 2020\* Metálicos



\*Con corte al 18 de Octubre de 2020



El empleo  
es de todos

Mintrabajo

# MARCO NORMATIVO COLOMBIANO





## DECRETO 1886 DE 2015 – TÍTULO IV: SOSTENIMIENTO

**Art 75.** “El titular del derecho minero, el explotador minero y el empleador minero, deben adoptar las medidas que sean necesarias para asegurar que las labores mineras subterráneas no presenten derrumbes ni desprendimientos de rocas que pongan en peligro la vida e integridad de las personas”

**Art 76.** “El titular del derecho minero, el explotador minero y el empleador minero debe definir e implementar un plan de sostenimiento de la explotación, de acuerdo con el estudio geomecánico del área y con lo aprobado en el Programa de Trabajos y Obras (P.T.O.) del proyecto, cuando se trate de labores mineras.”

“El titular del derecho minero, el explotador minero y el empleador minero debe realizar un **documento de actualización permanente** donde se establezcan las normas específicas sobre **cuándo, dónde y qué tipo de apoyo del techo** se tienen que instalar en todas las etapas del proceso de desarrollo de actividades subterráneas incluidas bocaminas, galerías y frentes.”





## ¿HAN SIDO EFECTIVOS LOS PLANES DE SOSTENIMIENTO?

- ¿Ha funcionado la implementación de los planes de sostenimiento para la reducción de accidentes por causas geomecánicas?
- ¿Ha entendido la industria en que consiste un plan de sostenimiento?
- ¿Quién está realizando y quién debería realizar estos planes de sostenimiento?
- ¿Cuenta la autoridad minera con el personal capacitado para la revisión, aprobación y fiscalización de los planes de sostenimiento?



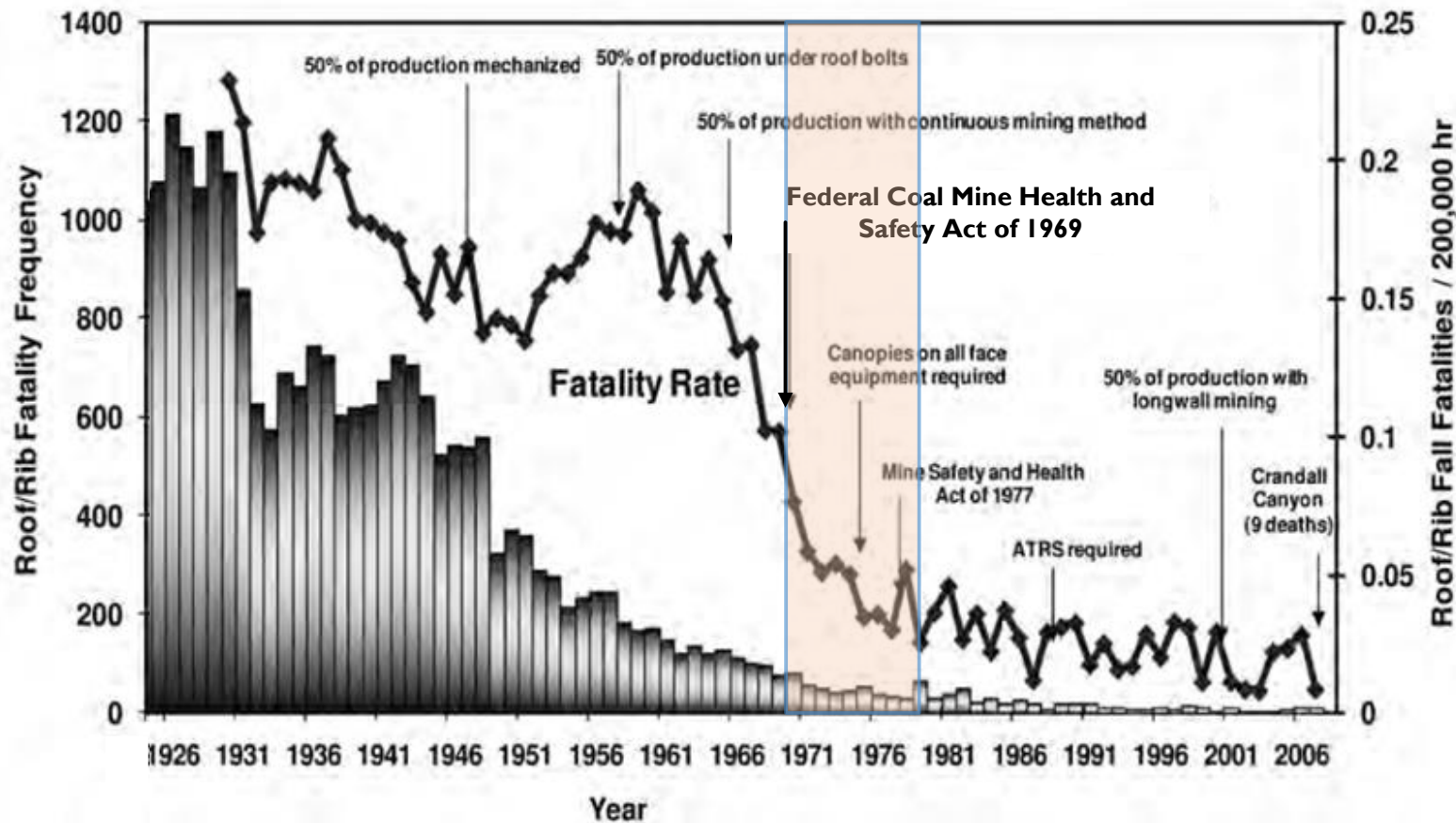
El empleo  
es de todos

Mintrabajo

# REFERENTES INTERNACIONALES



# ESTADOS UNIDOS



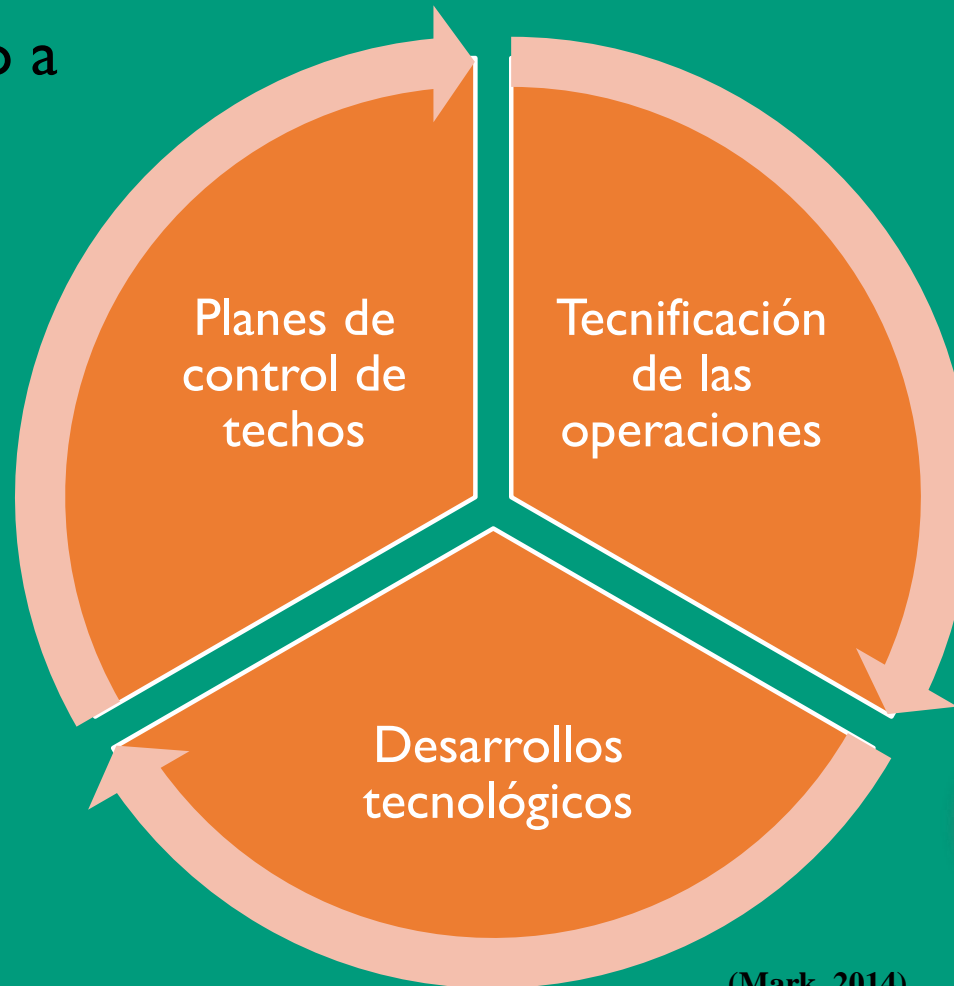
(Pappas & Mark, 2012)

- En 2016 se alcanzó por primera vez la meta de 0 accidentes por causas geomecánicas
- En 2018, 2019 y lo que va del 2020, se ha alcanzaron igualmente este objetivo



# ESTADOS UNIDOS

Factores que han aportado a esta reducción:



**§ 75.221**

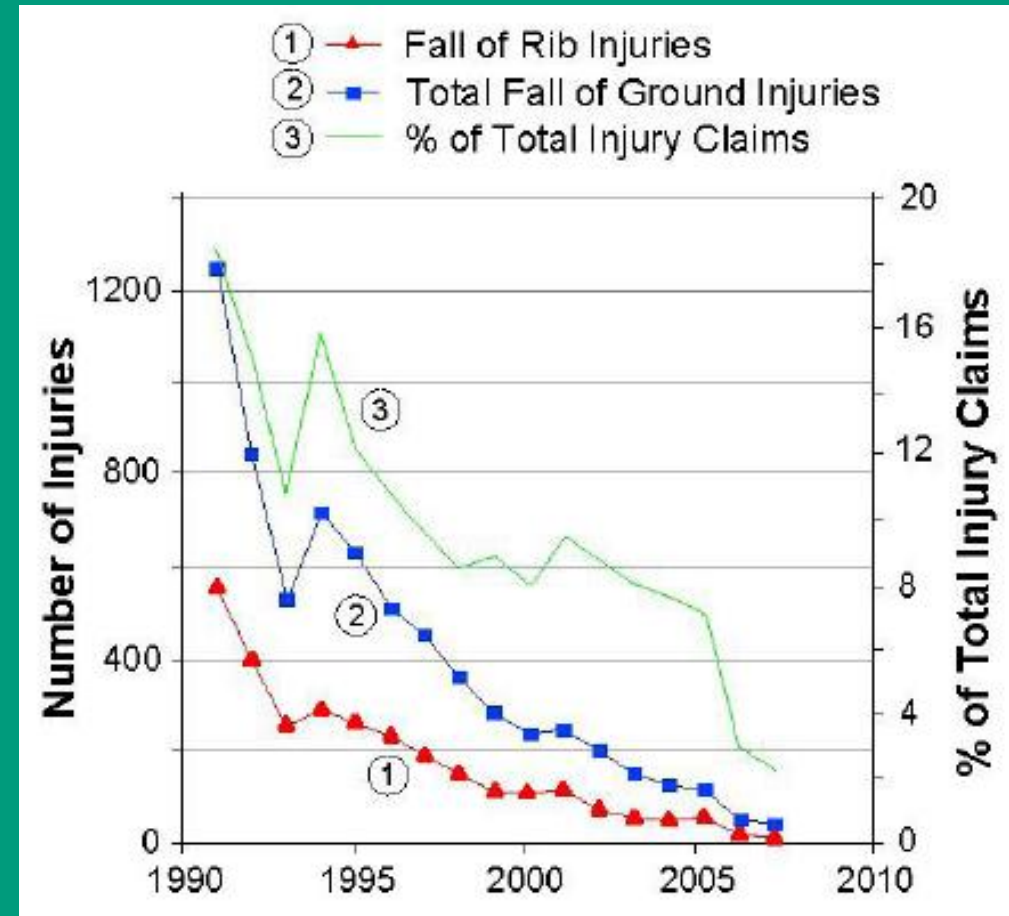
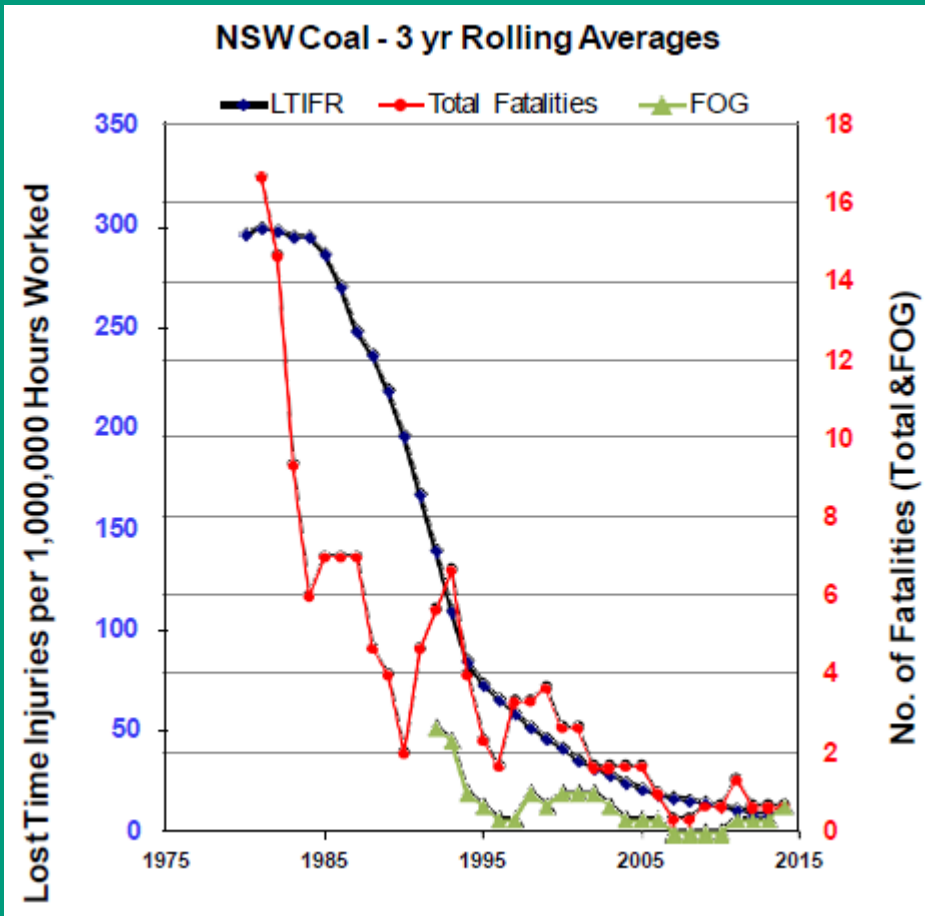
**§ 75.220 Roof control plan.**

(a)(1) Each mine operator shall develop and follow a roof control plan, approved by the District Manager, that is suitable to the prevailing geological conditions, and the mining system to be used at the mine. Additional measures shall be taken to protect persons if unusual hazards are encountered.

(Mark, 2014)



# AUSTRALIA



(Galvin, 2020)



# AUSTRALIA

## ACCIDENTES RECIENTES

- 25 de agosto de 2019 - Minero murió después de ser enterrado en el deslizamiento de un talud en la mina de arenas minerales Bootu Creek, NT
- 27 de Junio de 2019 - Minero muere después de ser enterrado en el deslizamiento de un talud en la mina de carbón de Middlemount, Qld.
- Mayo 2016 – Conductor de camión muere al volcarse en una cantera en Victoria
- Marzo 2016 – Conductor de camión muere en una vía inestable en un cantera en Victoria.
- 11 de Diciembre de 2014 – minero subterráneo muere por derrumbe de una pared en la mina de carbón Grasstree, Qld
- 15 April 2014 –2 Minero muere por estallido de carbón, AustarMine, NSW
- 3 de Junio de 2011 – Minero subterráneo muerto por derrumbe de una pared en la mina de carbón Lakeview, NSW

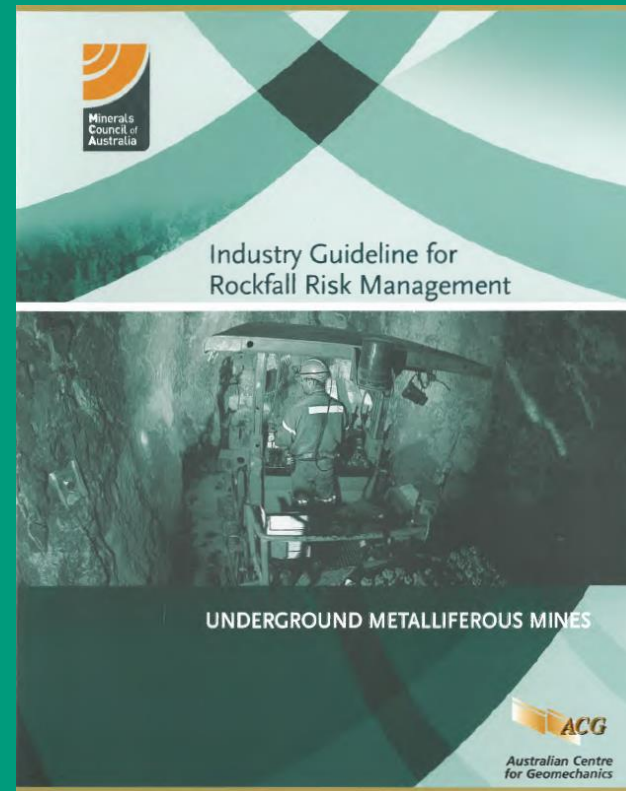




# AUSTRALIA

## PREMISAS DEL MODELO AUSTRALIANO

- Todas las muertes, lesiones y enfermedades son prevenibles.
- No hay ninguna tarea lo suficientemente importante que no se pueda hacer de manera segura.
- Todos los peligros se pueden identificar, y sus riesgos se pueden controlar.
- Cada individuo tiene la responsabilidad de su seguridad y la de sus colaboradores.
- El desempeño en salud y seguridad siempre puede mejorar.



(Potvin & Nedin, 2003)



(Department of Mines, Industry Regulation and Safety, 2019)





# MEJORES PRÁCTICAS: PLAN DE GESTIÓN DE CONTROL GEOMECÁNICO “PLAN DE SOSTENIMIENTO”



## LO QUE DEBE SER...

- Documento de naturaleza dinámica (Actualización permanente)
- Desarrollado por una persona competente
- Describe las condiciones, el comportamiento esperado y los peligros asociados al terreno
- Reconocer los riesgos asociados a la naturaleza cambiante del terreno (Incertidumbre)
- Se debe basar en la aplicación de la gestión del riesgo a los problemas geomecánicos



## LO QUE DEBE SER...

- Define los requerimientos mínimos de sostenimiento basado en los principios del diseño geomecánico
- Debe proporcionar a los mineros reglas claras y simples, en términos que ellos puedan entender
- Debe contener procedimientos de trabajo seguro para todas las tareas que puedan tener un impacto por condiciones geomecánicas (Perforación, sostenimiento, desabombe, cargue, entre otros).
- Este plan se debe revisar de manera periódica, especialmente cuando:
  - Abordar problemas identificados durante la implementación
  - Después de un accidente
  - Cuando se planee o anticipe un cambio en las condiciones del terreno



# ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

## 1. Introducción

- Proporcionar una guía general acerca del propósito del documento y cómo usarlo. Se debe describir brevemente la estructura del documento.

## 2. Documentos Relevantes

- Se debe incluir la lista de los documentos, estudios, regulaciones, guías y normativas, tanto internas como externas que sean relevantes para el documento.

## 3. Control y Revisión del documento

- Se deben definir las personas responsables, procesos, estrategias, cronogramas y fechas límite para la definición y mantenimiento de este documento.

## 4. Roles y Responsabilidades

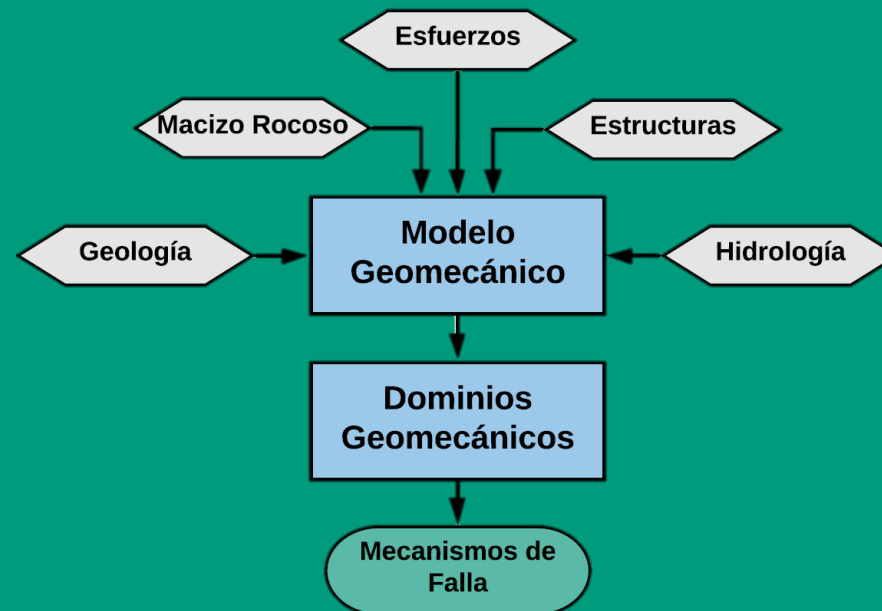
- Definir los roles y responsabilidades de las personas encargadas del diseño, mantenimiento, implementación y comunicación de este documento.



# ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

## 5. Marco Geológico y Geomecánico (Modelo Geomecánico)

- Debe describir cualitativa y cuantitativamente las características físicas del terreno que puedan tener un impacto en la estabilidad de las excavaciones. Esta sección debe describir los métodos utilizados para recopilar y documentar la información geomecánica del terreno.





# ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

## 6. Diseño y Planeamiento

- Se deben definir y especificar los métodos y herramientas utilizadas para el diseño de las excavaciones y elementos de sostenimiento, para cada tipo de excavación y condición de terreno esperada. Se deben definir y especificar criterios de aceptabilidad para cada condición dependiendo de la exposición del personal y temporalidad de las excavaciones. Esta fase debe ser desarrollada por un profesional competente en el área de diseño geomecánico de excavaciones mineras.
  - Dimensiones, orientación, y forma de las excavaciones
  - Secuencias de excavación
  - Métodos de excavación
  - Mecanismos de sostenimiento y fortificación del terreno
  - Diseño de pilares
  - Diseño de materiales de relleno



## ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

### 7. Implementación de Diseños y Control de Calidad

- Debe describir las acciones para garantizar que los diseños se implementen de manera adecuada con los estándares y tolerancias requeridos. Debe incluir procedimientos de trabajo seguro e instrucciones claras y detalladas de los trabajos. Se debe garantizar que los equipos e insumos utilizados para realizar la excavación y el sostenimiento de las excavaciones cumple los estándares de calidad definidos por el fabricante o establecidos en la etapa de diseño.

### 8. Monitoreo, recolección y revisión de datos

- Se deben definir procesos de monitoreo para evaluar las condiciones del terreno y los elementos de soporte, ya sea a través de inspección visual o con instrumentación. Se debe definir protocolos para recolección, análisis e interpretación de estas observaciones, teniendo en cuenta los límites permisibles definidos en la fase de diseño



## ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

### 9. Comunicación, Entrenamiento y Supervisión

- Se deben establecer mecanismos de comunicación y consulta que garanticen el debido cumplimiento de este documento, al igual que programas de entrenamiento que garanticen que los trabajadores son conscientes de los peligros geomecánicos a los cuales están expuestos y que son competentes en las actividades realizan.

### 10. Plan de Acción de Respuesta a Emergencias

- Identificación de los escenarios de emergencia asociados a causas geomecánicas.
- Respuestas y recursos requerido de acuerdo al nivel de la emergencia.
- Cuándo y cómo se debe realizar la respuesta a la emergencia
- Que personal se requiere para implementar el plan y la línea de mando
- Sistemas de alerta de emergencia y cómo se activará la alarma
- preparación y entrenamiento para eventos de emergencia.

### 11. Auditorías





# **INICIATIVA: DECÁLOGO PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES POR CAUSAS GEOMECÁNICAS EN EXCAVACIONES MINERAS**



# DECÁLOGO PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES POR CAUSAS GEOMECÁNICAS EN EXCAVACIONES MINERAS

AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA

Miércoles 26 de Agosto de 2020

Español

INICIO | AGENCIA | SERVICIO AL CIUDADANO | NORMATIVA | TRÁMITES Y SERVICIOS | CONTRATACIÓN | PRENSA | CONTÁCTENOS

Inicio » ANM publica decálogo para la prevención de accidentes mineros

Registre su PQRS

Normativa

Nuestras Sedes

Información para inversionistas

Los Abecé

Calendario de eventos

Seguridad y salvamento

Vademécum de Salvamento Minero

ANM publica decálogo para la prevención de accidentes mineros

de accidentes por causas geomecánicas en **excavaciones mineras.**

Bogotá, 12 de agosto de 2020. La Agencia Nacional de Minería- ANM, la Asociación de Profesionales del Sector Minero de Colombia – AIMC y la Facultad de Minas de la Universidad Nacional- UN, publicaron el 'Decálogo para la prevención de accidentes por causas geomecánicas en excavaciones mineras'.



**Autores: Juan E. Monsalve; Gildardo A. Cardona; Juan J. Monsalve; Gloria C. Gheorge**





## OBJETO

- Este documento contiene los diez aspectos básicos que todo titular, explotador o empleador minero debe tener en cuenta para evitar y prevenir accidentes por causas geomecánicas en cualquier tipo de explotación minera subterránea independiente del tipo de mineral y la escala del proyecto.
- Estas recomendaciones están dirigidas todos los niveles jerárquicos y operativos de la organización, responsables directa o indirectamente de la seguridad en la operación.
- Esta enmarcado en la conceptualización del “Diseño Geomecánico para Minería Subterránea” figura que debe estar contenida en los Planes de Sostenimiento.





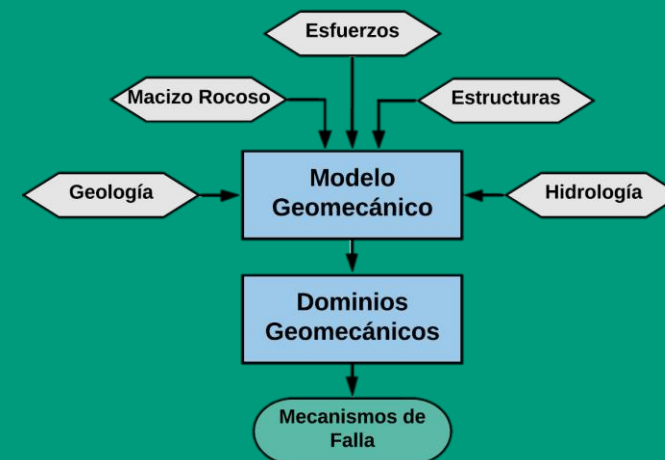
# ESTRUCTURA

1

- Conozca su macizo rocoso, mapee y defina sus dominios geomecánicos

2

- Defina el tipo de soporte basado en el conocimiento de su macizo rocoso





## ESTRUCTURA

3

- Establezca un plan de inspección e instrumentación del macizo rocoso y elementos de soporte



4

- Evite el ingreso a labores abandonadas, con problemas de inestabilidad identificados o en las cuales se haya hecho voladura sin antes realizar el respectivo desabombe






# ESTRUCTURA

5

- Defina procedimientos claros para la inspección del macizo, desabombe e instalación de mecanismos soporte

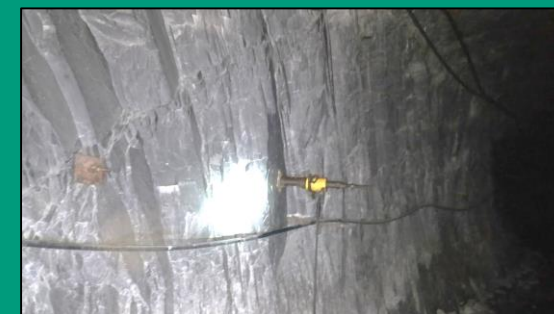
6

- Asegure la debida disponibilidad de elementos de soporte con la calidad requerida



### PETS

- 1) Instrucciones de seguridad.
- 2) Orden y limpieza.
- 3) Ventilación de la labor.
- 4) Lavado (regado) de los techos frente y paredes de la excavación.
- 5) Identificación de peligros y evaluación de riesgos (IPER) referidos a los problemas del terreno.
- 6) Llenar el Check list.
- 7) Delimitar el área a desatar y no permitir el ingreso del personal.
- 8) Seleccionar la barretilla apropiada para el desatado.
- 9) Desatado de la labor de acuerdo a los estándares y procedimientos indicados anteriormente.
- 10) Sostenimiento cuando el terreno lo requiera.





# ESTRUCTURA

7

- Capacite y entrene a su personal en la identificación de peligros geomecánicos, desabombe, instalación de soporte y respuesta a emergencias por causas geomecánicas

8

- Instruya y motive al personal en el reporte de condiciones anómalas en temas de sostenimiento y del macizo rocoso y defina un plan de acción de respuesta a emergencias en caso que un riesgo se materialice

### Reporte de caída de roca

<b>PERSONA REPORTANTE DEL INCIDENTE</b>		Nombre: _____ Cargo: _____	
Ejemplar: _____		Teléfono: _____	
Mina: _____		Tipo de mina: <input type="checkbox"/> Mina polimetálica <input type="checkbox"/> Mina de oro <input type="checkbox"/> Mina no metálica <input type="checkbox"/> (prospección)	
<b>UBICACIÓN Y TIPO DE CAÍDA DE ROCAS</b>		<b>Ubicación de la zona de caída de rocas:</b>	
(Seleccionar e indicar área relevante, más de uno si es necesario)		Profundidad (m): _____	
Fecha de la caída: _____		Piso estimado de la caída: _____ (toneladas/m <sup>3</sup> )	
(seleccionar una o más para indicar si)		Dimensión estimada de la caída: _____	
La medición de la profundidad de la caída es medida perpendicular a la cara original de la superficie de la roca		<b>Causa de esfuerzos inducidos:</b>	
Años afectados por causas del incidente los esfuerzos se incrementaron o disminuyeron (indicar cuál): _____		<input type="checkbox"/> Efecto horizontal (medio o alto) _____ x esfuerzo de sobre rotación	
Signos de deformación de la roca: _____		<input type="checkbox"/> Signos de deformación de la roca _____	
Relajación del Macizo Rocoso _____		<input type="checkbox"/> Esfuerzos horizontales (aproximadamente de esfuerzos)	
(seleccionar una o más para indicar si)		<b>Mecanismo de Falla:</b>	
(Ver notas)		<input type="checkbox"/> Falla por gravedad <input type="checkbox"/> Volcamiento <input type="checkbox"/> Desmoronamiento <input type="checkbox"/> Asentamiento	
Anegamiento _____		<input type="checkbox"/> Lavante del Piso <input type="checkbox"/> Flujo de agua <input type="checkbox"/> Otros _____	
Expansión de roca en proyección _____		<input type="checkbox"/> Expansión de roca con proyección	
Roca proyectada por transferencia de energía sísmica _____		<input type="checkbox"/> Caída de roca por cavidad sísmica	
<b>GEOLOGÍA DEL ÁREA DE LA CAÍDA DE ROCAS</b>		<b>Características geológicas del sitio de caída de rocas:</b>	
(seleccionar para indicar si)		<input type="checkbox"/> Juntas _____ familias de juntas involucradas en el colapso	
(Ver parámetros valorados en sitio)		<input type="checkbox"/> Baja resistencia de roca intacta (USC=24 MPa) _____	
		<input type="checkbox"/> Roca expansiva/altos esfuerzos _____	
		<input type="checkbox"/> Mapa geotécnico llevado a cabo en un dominio geotécnico donde hubo caída de roca en años anteriores	
		<input type="checkbox"/> Trazado diamantino liguado geotécnicamente en dominio de un área con caída de roca	
		Resistencia a la compresión simple roca intacta estimada (longitud): _____ MPa	
		Estimación de la cantidad de macizo rocoso en rango o clase (especificar RMR, G, URMR, G3): _____	
<b>DETALLES DE LA EXCAVACIÓN</b>		Fecha de montaje: _____ Dimensión de la excavación: _____ (Alto/Ancho/Longitud)	
(seleccionar para indicar si)		<input type="checkbox"/> Método usado para el diseño de la perforación y voladura (rombo) _____	
		<input type="checkbox"/> Se usó control automático de perfilado de taladros _____	
		<input type="checkbox"/> Monitoreo de la voladura en este dominio geotécnico durante los pasados años _____	
		<input type="checkbox"/> Cobros visitados en los paredes y techo _____	
<b>SOPORTE DE ROCA Y DETALLES DE REFORZAMIENTO EN LA ZONA DE CAÍDA DE ROCAS</b>		¿Se usó sostenimiento sólo resorte en el área de caída de rocas? SI/NO	
(Ver notas)		Tipo _____	
(Ver notas)		Número _____	
(seleccionar para indicar si)		Longitud _____	
		Diámetro, etc.(mm) _____	
		Flecha (mm) _____	
		Capacidad de soporte (ton) _____	
		Día de instalación _____	
		Espesor del shotcrete (mm) _____	
		Resistencia del shotcrete (MPa) _____	
		Composición (aire) _____	
<b>Diseño del método de soporte</b>		Clasificación del macizo rocoso (RMR, Q, URMR, G3): _____	
<input type="checkbox"/> Método observacional _____		<input type="checkbox"/> Método analítico (unwedged, etc) _____	
<input type="checkbox"/> Método gráfico de estabilidad _____		<input type="checkbox"/> Análisis de esfuerzos numérico _____	
<input type="checkbox"/> Método empírico/Nombre: _____		<input type="checkbox"/> Criterio sísmico _____	
<input type="checkbox"/> Experiencia _____		<input type="checkbox"/> No se usó _____	
<input type="checkbox"/> Otros _____			
<b>DETALLES DEL MONITOREO</b>		¿Signos observados o monitoreados antes de la falla? SI/NO	
(seleccionar para indicar si)		Algun signo de altos esfuerzos antes y/o después del colapso? SI/NO	
		Se instaló instrumentación antes de la falla? SI/NO	
		Tipo de instrumentación: <input type="checkbox"/> Monitoreo de desplazamientos <input type="checkbox"/> Medidas de esfuerzos absolutos	
		<input type="checkbox"/> Medidas de cambios de esfuerzos <input type="checkbox"/> Red de monitoreo sísmico <input type="checkbox"/> Otros _____	





## ESTRUCTURA

9

- Asigne responsabilidades claras en temas de control de techos

10

- Periódicamente realice auditorías externas por parte de expertos a sus instalaciones en materia de control geomecánico de sus excavaciones







## CONCLUSIONES

- Los aspectos geomecánicos son una de las principales causas de accidentes y muertes en la industria minera Colombiana.
- A pesar de que el marco normativo colombiano contempla la implementación de los planes de sostenimiento como una estrategia administrativa para la gestión del riesgo geomecánico, su aplicación no ha entregado los resultados esperados posiblemente por debilidades en su diseño y puesta en práctica.
- Los planes de gestión para el control geomecánico en minería son una regla de oro estándar en la industria minera a nivel global, y se ha demostrado con estadísticas que su debida implementación salva vidas e inclusive pueden ayudar a alcanzar la meta de cero accidentes.
- A pesar de que no hay un modelo único para la estructuración de “planes de sostenimiento” los diferentes modelos parten de los mismos principios basados en la gestión del riesgo aplicados a los problemas geomecánicos y los principios de diseño geomecánico.



## REFERENCES

- Agencia Nacional de Minería. (2020, Octubre 23). Estadísticas de Emergencias y Mortalidades Mineras en el Año 2020. Retrieved from [https://www.anm.gov.co/?q=emergencias\\_mineras](https://www.anm.gov.co/?q=emergencias_mineras)
- Department of Mines, Industry Regulation and Safety. (2019). Ground control for Western Australian mining operations – code of practice: Department of Mines, Industry Regulation and Safety. Western Australia: Government of Western Australia.
- Department of Mines, Industry Regulation and Safety. (2019). Ground control management in Western Australian mining operations – guideline: Department of Mines, Industry Regulation and Safety,. Western Australia: Government of Western Australia.
- Emery, J., Canbulat, I., & Chengguo, Z. (2020). Fundamentals of modern ground control management in Australian underground coal mines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 573-582.
- Galvin, J. (2020). Ground Control Management Plans. Content and Some Important Considerations in Managing Geotechnical Risk. *Underground Mining Society Webinar*. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.
- Mark, C. (2014). Ground Control in the Underground Coal Mines of Colombia. *Proceedings of the 33rd International Conference on Ground Control in Mining*. Morgantown, WV, USA: West Virginia University.
- Monsalve, J., Cardona, G., Monsalve, J., & Gheorghe, G. (2020, Agosto 12). Decálogo para la prevención de Accidentes por Causas Geomecánicas en Excavaciones Mineras. Retrieved from Agencia Nacional de Minería: <https://www.anm.gov.co/?q=anm-publica-decalogo-para-la-prevencion-de-accidentes-mineros>
- Pappas, D., & Mark, C. (2012). Roof and rib fall incident trends: a 10-year profile. *Transactions of Society for Mining, Metallurgy and Exploration*, 330, 462-478.
- Potvin, Y., & Nedin, P. (2003). *Management of Rockfall Risks in Underground Metalliferous Mines*. Crawley: Australian Centre for Geomechanics.