



Fuente de Imagen (ANM, 2021)

Modelo en la Prevención y Mitigación de Explosiones de Metano y Polvo de Carbón en la Minería Subterránea

Model for Prevention and Mitigation of Methane and Coal Dust Explosions in Underground Mining

Por: GLORIA CATALINA GHEORGHE
Ingeniera de Minas y Metalurgia,
Magister en Salud Ocupacional y
Ambiental.

Especialista en Ingeniería contra
Incendios y Explosiones,
Especialista en Seguridad Minera,
Especialista en Gerencia en Salud
Ocupacional.

Consultora en Seguridad Minera
Líder del Comité de Seguridad
Minera de la APMC - Asociación de
Profesionales del Sector Minero
Colombiano.

cardonacatalina@gmail.com

Resumen

¿Es posible prevenir las explosiones de metano y polvo de carbón?

Sí, es posible prevenir que ocurra una explosión y mitigar sus efectos si llegara a materializarse. En las investigaciones de las explosiones que han tenido lugar en Colombia, se ha encontrado que fueron consecuencia de la ausencia y deficiencia en controles, no de situaciones que cómodamente denominamos como “eventos súbitos” y “actos inseguros”.

Prevenir una explosión no debe ser una religión misteriosa. Se trata de tener una línea base para identificar los peligros (mediante el estudio de desorción de gas metano¹, explosividad del polvo de carbón, evaluación de fuentes de ignición, registros históricos de mediciones de gases, entre otros). Luego, se debe tomar decisiones sobre las intervenciones requeridas, como el diseño del sistema de ventilación, medios de inertización, monitoreo de gases, equipos eléctricos con modos de protección adecuados, procedimientos de trabajo seguros y capacitación competente de los trabajadores. Posteriormente, se deben implementar los controles, monitorear su efectividad y tomar decisiones sobre las mejoras que deben realizarse, todo dentro del marco de un proceso de mejora continua.

La seguridad y salud en el trabajo se trata de mantener los peligros bajo control (AIHS, 2019). En el caso de las explosiones, los peligros se dividen en tres categorías principales: primero, la formación de atmósferas explosivas debido al metano; segundo, los aportes energéticos debido a equipos eléctricos, voladuras y otros factores; y tercero, el control del polvo de carbón. Cuando estos peligros se encuentran bajo control, se reduce significativamente el riesgo de explosión. Como resultado, no solo se previene la ocurrencia de una explosión, sino que también se mejoran las condiciones en la atmósfera minera, garantizando un entorno más seguro para los trabajadores.

¹¿Qué es absorción y desorción? La absorción es un proceso de transferencia de material desde un compuesto presente en una fase gaseosa a una fase líquida mediante disolución. La operación inversa de transferencia de un gas disuelto por un gas inerte se denomina desorción.



Palabras clave: Minería subterránea, Prevención, Mitigación.

Contexto

Las explosiones en la minería subterránea de carbón han sido responsables de las mayores tragedias en la industria minera en Colombia. Según el registro de la Agencia Nacional de Minería, se han producido un total de 2029 muertes de trabajadores mineros desde el año 2005 hasta mayo de 2023 (ANM, 2023).

La principal causa de mortalidad en la minería subterránea se debe a fallas geomecánicas, con un total de 561 muertes. La segunda causa de muerte son las explosiones, que han cobrado la vida de 515 trabajadores en 223 incidentes, de los cuales 175 corresponden a explosiones de metano y/o polvo de carbón, siendo la inmensa mayoría únicamente de metano. Sin embargo, más allá de su alta frecuencia, las explosiones han generado tragedias de proporciones enormes; en tan solo 20 explosiones subterráneas han perdido la vida 299 trabajadores mineros. Las explosiones más comunes son las deflagraciones ² de metano, pero las más devastadoras son las explosiones primarias de metano seguidas por las explosiones secundarias de polvo de carbón (ANM, 2023).

En las investigaciones de algunas de las explosiones más catastróficas, se encontró que, aunque los flujos de metano eran relativamente bajos, la ventilación era inadecuada y había una ausencia o deficiencia en

²Acción o efecto de deflagrar (arder una sustancia súbitamente con llama y sin explosión). 2 física. Proceso de combustión rápida e intensa, en particular la que se extiende de modo subsónico y por conducción térmica. Relacionados: conflagración, detonación, explosión.



controles del polvo de carbón, así como en los controles administrativos y la respuesta a emergencias. Estos hallazgos nos llevan a cuestionar la forma en que estamos abordando la seguridad en la minería, especialmente en la gestión del riesgo de explosiones subterráneas (Gheorghe, 2020).

En este artículo, buscaremos presentar un modelo de gestión con el propósito de prevenir y mitigar las explosiones subterráneas en la minería de carbón.

Los elementos propuestos no difieren de lo que considera un modelo de gestión del riesgo, que implica caracterizar el proceso, identificar los peligros, evaluar los riesgos, diseñar e implementar las medidas de control, y monitorear su efectividad (Gheorghe, 2023).

1. Caracterización del proceso:

En este punto, se espera una descripción completa de los detalles de la operación minera, que incluye el método de explotación, el arranque, el transporte, los equipos bajo tierra, las comunicaciones con otras minas y el sistema de ventilación actual, entre otros aspectos. Si se busca un control adecuado del riesgo de explosión, es fundamental basarse en la realidad de la mina. Por ejemplo, en una mina con altos niveles de metano, resulta fundamental contar con rutas de ventilación de retorno en las áreas de exploración para permitir el drenaje previo del metano. Otro ejemplo sería que, si la altura de las vías en la mina no supera los dos metros, es probable que no haya espacio para instalar barreras de agua o caliza, por lo que se debería considerar alternativas como el uso de rociadores de agua. El diseño del sistema de control debe estar en sintonía con las

características específicas de la operación minera.

2. Identificación de peligros y valoración de riesgos:

Para que ocurra una explosión, es crucial evaluar las siguientes variables principales: metano, fuentes de ignición y polvo de carbón. Veamos cuáles serían algunos de los análisis mínimos requeridos. Esta información es esencial para establecer las medidas de control más adecuadas para la mina y, además, permite evaluar el “nivel de riesgo” de explosión utilizando como referencia la metodología de la Guía Técnica de Prevención de Explosiones de Metano y Polvo de Carbón de la ANM y la Universidad Nacional de Colombia (ANM, 2021).

2.1. Metano: Es indispensable el estudio de desorción del gas metano para determinar los contenidos de gas en m³/ton para cada uno de los mantos y bloques de carbón explotado, además de un estudio geológico para identificar zonas susceptibles de desprendimientos de gas. Las operaciones mineras que ya cuentan con este estudio en algunos casos solo lo han utilizado para demostrar el cumplimiento de un requisito legal, pero lo esencial no es “tener el estudio”, lo importante es utilizar la información que proporciona para el diseño de los controles. La evaluación de las tendencias en las mediciones de gases en la mina es otro elemento indispensable.

2.2. Polvo de carbón: Podríamos indicar que se requiere “El estudio de explosividad del polvo de carbón”. Pero ¿Qué es un estudio de explosividad de polvo de carbón? Podemos decir que es una línea base en la cual se han realizado análisis al polvo de carbón depositado en la mina para determinar su sensibilidad a la explosión, es decir, la concentración

mínima requerida para explotar. Se ha determinado el porcentaje mínimo de caliza que se requieren para inertizarlo y sea zonificada la mina para identificar la distribución de concentraciones de polvo de carbón con granulometría inferior a los 0,5 mm. Pero este estudio es solo una línea base, es una fotografía que permite mapear la mina, pero si no se controla adecuadamente la acumulación de polvo de carbón, zonas que eran consideradas de bajo riesgo, semanas después podrían ser de gran riesgo.

2.3. Fuentes de ignición: Se deben identificar los equipos eléctricos y los modos de protección, así como el mantenimiento preventivo que reciben los equipos; también las deficiencias que se pueda tener en la realización de voladuras, identificar procesos de combustión espontánea y otras fuentes asociadas a energías como riesgo de chispa por equipo mecánico en movimiento, llamas abiertas, entre otros.

3. Controles: ¿Qué es lo que queremos controlar?

3.1 Formación de atmósferas explosivas: para ello los tres controles más importantes son los siguientes:

3.1.1. Ventilación forzada - Control de ingeniería, medida de prevención.

Es el control más importante para prevenir la formación de atmósferas explosivas, consiste en ventilación principal forzada apoyada por ventilación auxiliar. Se debe garantizar que existan velocidad del flujo del aire en los frentes de explotación que prevenga la estratificación del metano y logren diluirlo a concentraciones, por debajo del 0,5%. Si se conocen las concentraciones de metano (del estudio de desorción) en los



mantos, puede determinarse el flujo de gas metano y en consecuencia la velocidad mínima requerida (que podría ser superior a 0,5 m/s) y el caudal de aire necesario. Hay normas inexorables como que la mina debe tener una entrada y una salida y que todos los frentes de explotación deben tener una galería base y una galería de cabeza (Carrasco, 2011). La ventilación por tiro natural es insuficiente para suplir las necesidades de ventilación de una mina. La gestión de la ventilación es esencial para verificar que se está cumpliendo el objetivo (garantizar una atmósfera segura para la vida). La gestión incluye el monitoreo semanal de las velocidades, presiones, humedad y temperatura; y debe realizarse el monitoreo continuo de gases.

3.1.2. Drenaje del gas: Control de eliminación-medida de prevención. Se debe considerar realizar perforaciones horizontales especialmente en mantos de carbón en los que se encuentren contenidos de gas metano superiores a los 3 m³/ton de carbón.

3.2 Controles orientados a prevenir las manifestaciones energéticas que puedan iniciar una explosión.

3.2.1 Equipos eléctricos protegidos: Control de sustitución, medida preventiva.

En minería subterránea de carbón, los equipos de ventilación, cables de cajas arrancadoras y otros accesorios eléctricos deben estar clasificados en el Grupo I y de categoría Mb de acuerdo con las normas IEC³, o equivalentes como las EN y otras.

Cuando se superen los límites reglamentarios de metano, solo deben permanecer en uso equipos que sean del Grupo I y de Categoría Ma. Los equipos e instalaciones eléctricas deben contar con modos de protección adecuados, particularmente un modo de protección eléctrica recomendado para un ventilador y cajas arrancadoras es la “envolvente antideflagrante”, que en la etiqueta del equipo se reconoce con “db” y para equipos como monitores de gases y lámparas mineras es “seguridad intrínseca”, “ia” (ANM, 2022).

3.2.2. Seguridad en la sustancia y accesorios utilizados para voladuras- Control de sustitución, medida preventiva.

Además de utilizarse explosivos seguros para minería de carbón y accesorios de voladura, se debe garantizar la seguridad de los procedimientos.

3.3 Controles enfocados al polvo de carbón

3.3.1. Inertización del polvo de carbón con caliza: control de ingeniería- medida preventiva y de mitigación. Debe abarcar todas las labores en la mina y monitorear la efectividad a través del muestreo con el equipo CDEM, para decidir cuándo debe aplicarse de nuevo caliza en un sector específico.

3.3.2. Jornadas de limpieza de polvo de carbón e inyección de agua con suficiente volumen y presión en sitios de mayor transferencia. - Control de aislamiento, medida de mitigación.

³ <https://www.normadoc.com/spanish/normas/normas-internacionales/iec-1.html#:~:text=Las%20normas%20IEC%20ayudan%20a,energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20y%20energ%C3%ADas%20renovables.>

3.3.3. Instalación de barreras de agua o caliza: control de ingeniería. Medida de mitigación.

Control de ingeniería orientado a la mitigación de explosiones.

3.4 Otros controles de mitigación y administrativos indispensables

3.4.1. Plan de emergencias: Medida de mitigación

En la preparación para la respuesta a una emergencia debido a explosiones son esenciales los siguientes tres elementos:

- 1) Contar con al menos dos rutas de evacuación en caso de emergencia, que estén en buen estado para el tránsito de personas y con recursos suficientes para facilitar la evacuación.
- 2) Una brigada de emergencias con un número suficiente de miembros, quienes deben entrenar regularmente, mínimo cada mes.

3.4.2. Procedimientos de trabajo seguro y capacitaciones: Controles administrativos, medidas de prevención y mitigación.

Siempre debe operarse bajo procedimientos de trabajo seguros, y los trabajadores adecuadamente entrenados en ellos, entre los procedimientos y capacitaciones esenciales se tiene:

- 1) Monitoreo de gases y aforos de ventilación.
- 2) Uso y mantenimiento de equipos.
- 3) Medidas en caso de suspensión de la ventilación.
- 4) Monitoreo del polvo de carbón y la aplicación de caliza.
- 5) Capacitaciones a todos los trabajadores en

conocimiento de la atmosfera minera y protocolos en caso de emergencias.

3.4.3. Plan de sostenimiento: - Control de ingeniería, medida de mitigación.

Contar con un adecuado plan de sostenimiento garantizará que la infraestructura de la mina no se verá significativamente afectada después de una explosión y como resultado los trabajadores tendrán menos riesgo de morir debido a derrumbes (ICONTEC, 2022).

3.4.4. Uso de “autorrescatadores”⁴: Control en el individuo, medida de mitigación.

4. Monitoreo

Independiente de la profundidad de los estudios, pertinencia del plan de ventilación, etc, una mina es una entidad dinámica, que cambia continuamente debido al avance en la explotación, la conexión de trabajos, cambios en las secciones de las vías, cambios en los equipos. Por lo tanto, el monitoreo del desempeño de los controles es indispensable para tener información que permita evaluar la efectividad de los controles e ir haciendo las mejoras y cambios respectivos. Es indispensable monitorear:

- 1) Concentraciones de gases y análisis de las tendencias.
- 2) Concentraciones de polvo de carbón y tasa de deposición.
- 3) Efectividad en la inertización del polvo de carbón.
- 4) Inspecciones planeadas de equipos.
- 5) Investigación de eventos

⁴ Los autorrescatadores son equipos de rescate personal que permiten a un trabajador escapar de una situación peligrosa en caso de emergencia.



5. Conclusión:

El objetivo primario es evitar que ocurra una explosión, cuyos controles más importantes son la ventilación forzada y operar equipos eléctricos protegidos, pero también deben implementarse las medidas para procurar mitigar sus efectos como la inertización del polvo de carbón, las capacitaciones, el uso de “autorrescatadores”.

Debemos convencernos de que, si es posible prevenir estos eventos, trabajando con diligencia y constancia en dicho objetivo, con lo cual las organizaciones lograrán comprender mejor cada vez sus riesgos y desarrollar la sinergia para que cada vez le resulte más fácil tener los riesgos inherentes bajo control. Cada parte interesada debe asumir las responsabilidades que le corresponden, Ministerio de Minas (institucionalidad minera), gremios, ARL, academia, operadores mineros, profesionales del sector (ingenieros, técnicos y trabajadores).

Referencias

[1] Agencia Nacional de Minería. (2021). Guía técnica para el diseño de planes de prevención de explosiones de metano y polvo de carbón. Recuperado de: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/guia_preve_ncion_mitigacion.pdf

[2] Agencia Nacional de Minería. (2022). Circular No. 01 del 06.15.2022: Recomendaciones con respecto a la prevención de explosiones de grisú, y a la limitación de sus efectos por la participación del polvo de carbón. Recuperado de: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/Circular%20No.%2001%20del%2015%20de%20Junio%20de%202022.pdf>



Fuente de Imagen (ANM, 2021)

[3] Agencia Nacional de Minería. (2023). Cuadro de Control de Emergencias Mineras. Australian Institute of Health and Safety (AIHS). (2019). Synopsis. In *The Core Body of Knowledge for Generalist OHS Professionals* (2° Ed.). Victoria, Australia.

[4] Carrasco G. J., Alarcón R. D., Albuerne P. J., Fernández B. E., Fernández V. E., García G. L., & Madera G., J. (2011). *Manual de ventilación de minas y obras subterráneas*. Asociación para la Investigación y Desarrollo Industrial de los Recursos Naturales (AITEMIN). Madrid, España.

[5] Gheorghe G. C. (2020). *Emergencias mineras mortales en Colombia 2005 - 2020: investigación con modelo jerárquico de causalidad de 100 eventos*. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/30813>

[6] Gheorghe G.C., Manrique E. F., y Idrovo A.J. (2022). *Injuries and fatalities in Colombian mining emergencies (2005-2018): a retrospective ecological study*. *Rev Bras Med Trab*, 22(4), 591-598. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.47626/1679-4435-2022-799>
Gheorghe G. C. (2023). *Guía técnica: lo esencial en la gestión de seguridad y salud en minería*. ARL SURA.



Centro de Formación Minero Ambiental

Regional Antioquia - El Bagre



www.sena.edu.co