

Lo más Reciente y Avanzado, y las Mejores Prácticas para la Prevención de Explosiones Mineras Subterráneas

Introducción



Thomas Morley, PE

Jefe de Operaciones de Emergencias Mineras

Departamento de Trabajo de los Estados Unidos,
Administración de Seguridad y de Salud Minera –
Soporte Técnico

Pittsburgh, Pensilvania

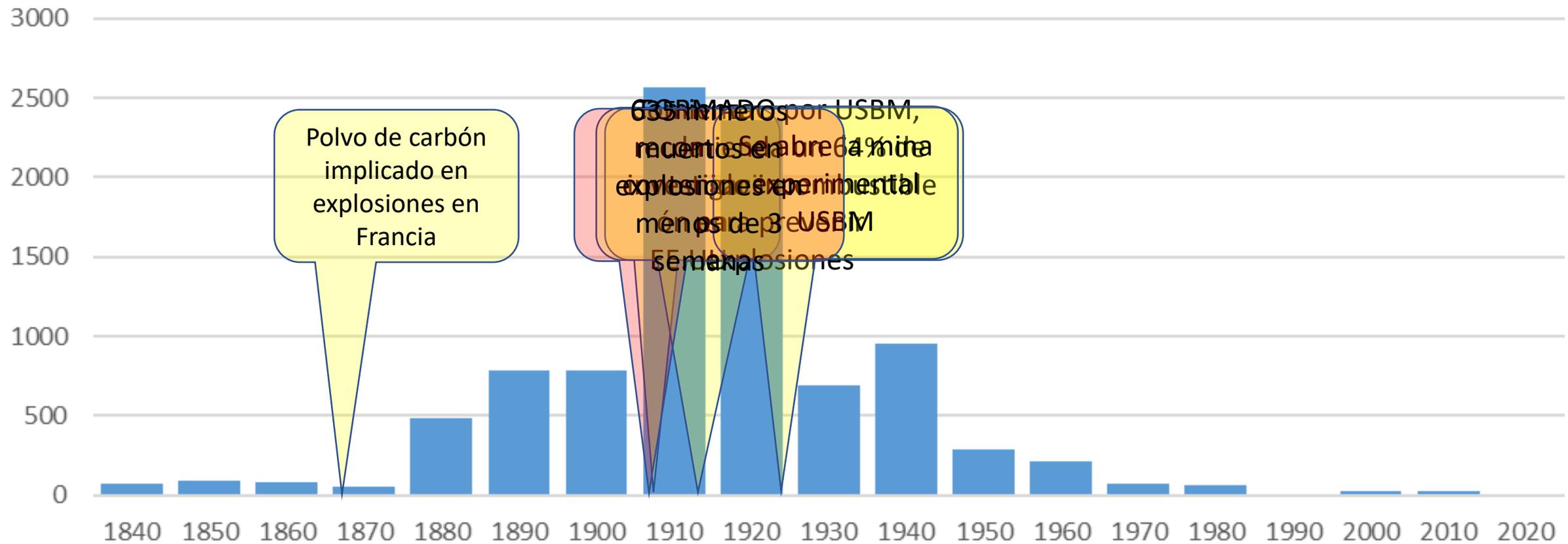
Antecedentes



- Esta presentación se centrará principalmente en las mejores prácticas utilizadas en los Estados Unidos.
- Estas prácticas evolucionaron a través de la experiencia de muchos desastres.
- La eficacia de adoptar estas prácticas puede verse desde una perspectiva histórica.
- La siguiente es una breve historia de los desastres mineros en los Estados Unidos y cómo dieron forma a las prácticas en los Estados Unidos.

Visión General Histórica

MUERTES CAUSADAS POR DESASTRES DEBIDOS A EXPLOSIONES
Explosion Disaster Fatalities





IV ENCUENTRO NACIONAL
DE SOCORREDORES MINEROS
"Prevención y Control de Explosiones Subterráneas"
Conectados en línea para Salvar Vidas
NOVIEMBRE 27 /2020

Demostraciones como esta en la mina experimental convencieron a la industria de que el polvo de carbón era explosivo.

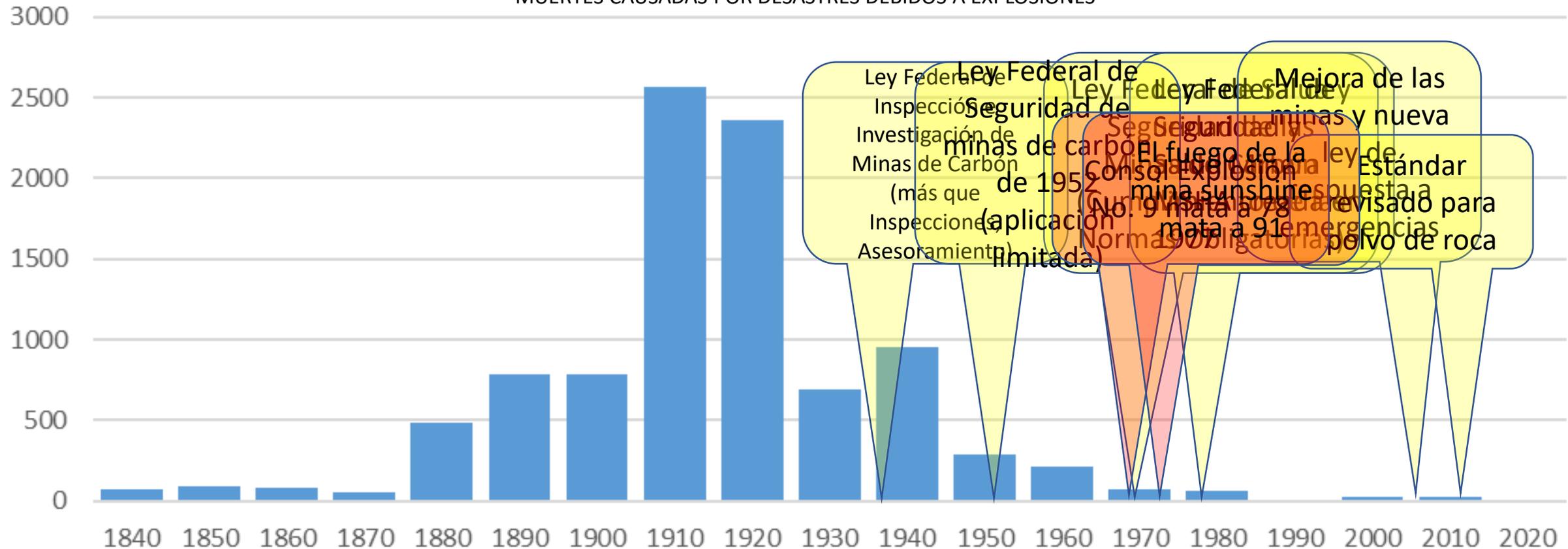
Visión General Histórica



MSHA (MINE SAFETY AND HEALTH ACT – POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

Explosion Disaster Fatalities

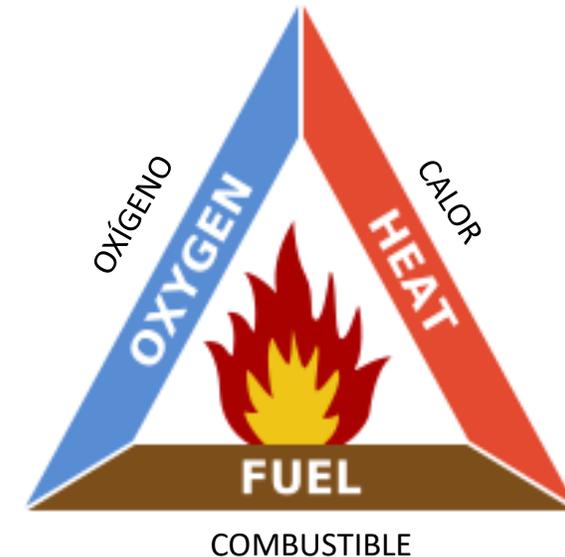
MUERTES CAUSADAS POR DESASTRES DEBIDOS A EXPLOSIONES



Explosiones de Minas



- ¿Qué es una explosión de mina?
 - Oxidación rápida de un combustible
 - Como cualquier combustión sigue el triángulo del fuego
- Los tres lados del triángulo deben estar presentes para tener una explosión.
- La **Clave** para prevenir incendios / explosiones es reducir o eliminar uno (o más) lados del triángulo.
- Primero, revisaremos las prácticas para controlar el combustible, luego el calor (fuentes de ignición) y finalmente el oxígeno (solo para las áreas selladas).



Fuentes de COMBUSTIBLE



- Los dos combustibles más predominantes en las minas subterráneas de carbón son el metano (CH_4) y el polvo de carbón.
- El metano se libera de la veta de carbón que se extrae activamente y también se puede introducir a través de fracturas en las vetas y en las formaciones adyacentes.
- La generación de polvo de carbón es inherente al proceso de minería.
- Las explosiones más destructivas suelen comenzar como una explosión de metano que suspende el polvo y enciende / propaga una explosión de polvo de carbón.

Polvo de Carbón como Combustible



- Polvo de carbón – carbón que es menor a una malla de 20 en tamaño (841 μm)
- Polvo flotante – carbón que es menor a una malla de 200 de tamaño (74 μm)
- ¿Cuánto polvo se necesita para una explosión?
De 50.000 a 90.000 mg / m³
- Esto es demasiado polvo de carbón para ver a través y haría difícil la respiración. Esto es más de 30.000 veces el estándar de polvo respirable en EE. UU.
- Por lo general, una ignición de metano levantará el polvo de carbón y lo pondrá en suspensión proporcionando combustible para una explosión que se propagará mientras el polvo de carbón esté presente.
- ¿Cuánto metano se requiere para encender el polvo de carbón?
Tan solo 0.37 m³, o una capa de metano de 50 mm de espesor.
- Algunos carbones son más explosivos que otros. Esto está relacionado con la volatilidad del carbón.
- La mezcla de polvo de carbón con otros combustibles (como el metano) aumenta la explosividad.

Fuentes de Polvo de Carbón



- La generación de polvo de carbón es inherente al proceso minero
- Es producido por el transporte de carbón partido
 - Transportadores frontales
 - Transportadores de banda
 - Transporte motorizado
- Producido por el movimiento de equipos mineros sobre derrames de carbón
- Desprendimiento de costilla

Mejores prácticas de control del Polvo de Carbón



- La generación de polvo de carbón se puede reducir mediante el uso de rociadores de agua en equipos mecanizados.
- Las brocas afiladas producen menos desechos finos y polvo.
- Programa de limpieza eficaz
 - durante el ciclo minero
 - alrededor de los puntos de carga y de los puntos de transferencia
- Raspadores eficaces en cintas transportadoras
- Rociadores de agua en las superficies de la correa de transporte y en los puntos de transferencia y en los trituradoras
- Depuradores de aire para eliminar el polvo en el aire
- Si se emplean todas estas prácticas, aún seguirá habiendo polvo de carbón.

Mejores prácticas de control del Polvo de Carbón



- Junto con los métodos para eliminar el polvo, el polvo restante se puede convertir en polvo no explosivo diluyéndolo con polvo de roca para aumentar el contenido incombustible.
 - Detiene la propagación de la explosión actuando como disipador de calor.
 - Los carbones con menos del 13 % de materia volátil se consideran como no explosivos y no se requiere polvo de roca (carbón de antracita).
 - La producción de CO_2 en descomposición del polvo de roca también puede desempeñar un papel importante en la supresión de una explosión de polvo de carbón.
- Históricamente, el polvo de carbón se ha vuelto inerte por la humectación. Esto es difícil de mantener.
- Los primeros experimentos (1911) recomendaron aproximadamente un 65 % de contenido incombustible para el polvo de carbón inerte
- Se reconoció que los trayectos de aire de retorno serían más propensos al polvo flotante. Se ha requerido un 80 % de contenido incombustible en los trayectos de aire de retorno.

Principales Características requeridas para el Polvo de Roca



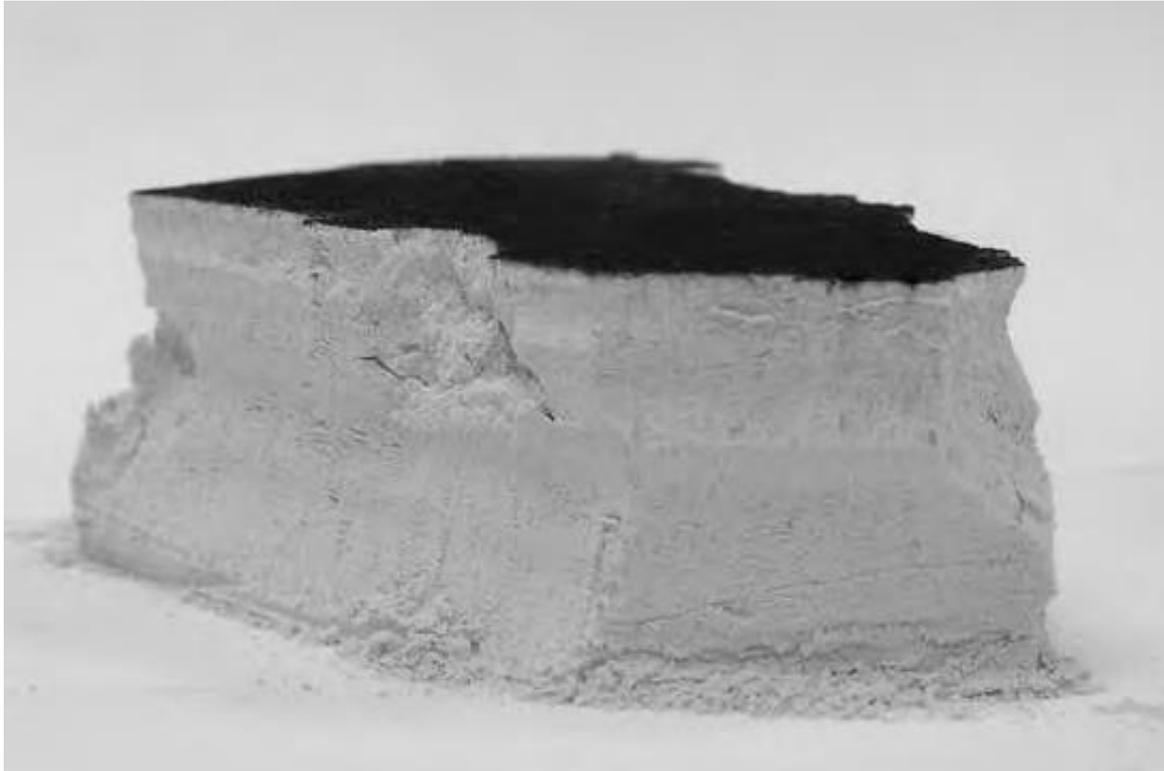
- Tamaño – sub $50\ \mu\text{m}$ (la malla de 200 es de $74\ \mu\text{m}$), los tamaños más grandes tienen menos superficie por peso para actuar como el disipador de calor (también más producción de CO_2).
 - Cuanto más pequeñas sean las partículas de polvo de carbón, más pequeñas deben ser las partículas de polvo de roca.
- No se debe apelmazar cuando se humedece y se seca
- Debe ser dispersable por una ligera ráfaga de aire
 - La onda de presión de explosión debe levantar y distribuir el polvo de roca en el aire
- No más del 4 % de sílice (peligroso para la salud)

Mejores prácticas de control del Polvo de Carbón



- Sólo la capa superior de polvo estará involucrada en una explosión. Muestree sólo los 3 mm superiores de polvo para determinar si hay suficiente contenido incombustible.
- Si se deposita polvo de carbón adicional en una superficie espolvoreada con polvo de roca, será necesario aplicar polvo de roca adicional.
- El polvo de roca se puede aplicar a mano, de manera mecánica o neumáticamente.
- Los espolvoreadores pueden suministrar polvo de roca continuo donde se genera el polvo de carbón y se acumula polvo flotante.

Mejores prácticas de control del Polvo de Carbón



Sección transversal de 0.25 mm de capa de polvo de carbón flotante depositada sobre una capa de 20 mm de polvo de roca. Esta cantidad de polvo de carbón flotante (malla - 200) permitirá la propagación de una explosión.

Es por eso que tomamos muestras sólo de los 3 mm superiores de polvo para determinar el contenido incombustible.

Mejores prácticas de control del Polvo de Carbón



**IV ENCUENTRO NACIONAL
DE SOCORREDORES MINEROS**
"Prevención y Control de Explosiones Subterráneas"
Conectados en línea para Salvar Vidas
NOVIEMBRE 27 /2020



Avances recientes en el desempolvado de rocas

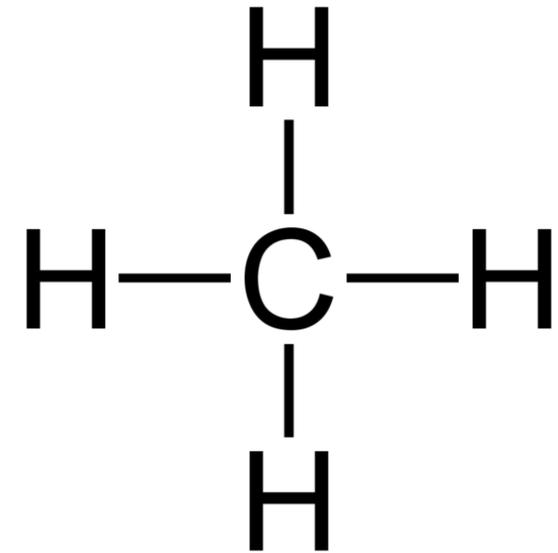
- Después del desastre de la mina Upper Big Branch en 2010 se reconoció que un estándar de contenido incombustible de 65 % no pudo proporcionar la suficiente protección. No se proporcionó ningún factor de seguridad. El estándar se incrementó al 80 % en todas partes. Para tener en cuenta el metano, el contenido incombustible debe aumentarse en un 0.4 % por cada 0.1 % de metano presente.
- Se ha desarrollado polvo de roca hidrófobo para evitar el apelmazamiento. Es más caro y no ha sido ampliamente adoptado.
- El CDEM ha sido desarrollado para dar determinaciones en tiempo real de contenido incombustible.



El metano como combustible



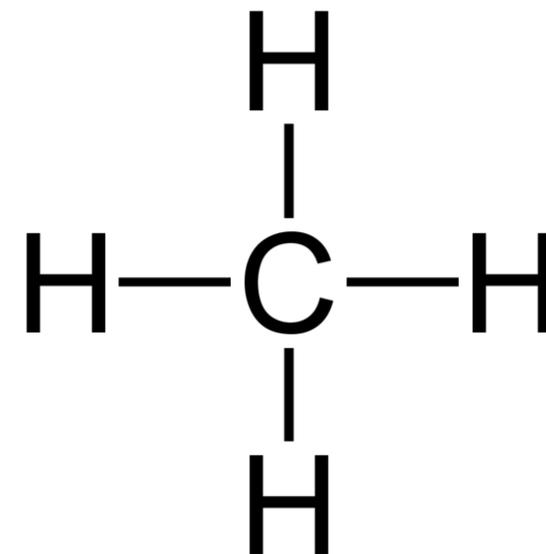
- Liberado de las vetas de carbón y presente en prácticamente todas las minas de carbón
- Más ligero que el aire (.554 SG)
- El alcance de explosión es de 5 – 15 % en volumen
- Liberación de metano relacionada con la tasa de producción
- Medios primarios de control:
 - Dilución por ventilación mecánica - Ventiladores
 - Remoción antes de que entre en funcionamiento la mina



Control del metano



- Ventilación
 - El objetivo es diluir el metano a niveles seguros
 - Una vez mezclado, no se puede separar
- Los límites obligatorios en EE. UU. son:
 - Menos del 1 por ciento en lugares de trabajo, divisiones de aire de admisión y retorno (proporciona un factor de seguridad de 5 a 1)
 - 2 por ciento o menos en los retornos principales y en las divisiones de purga antes de unirse a otra división de aire



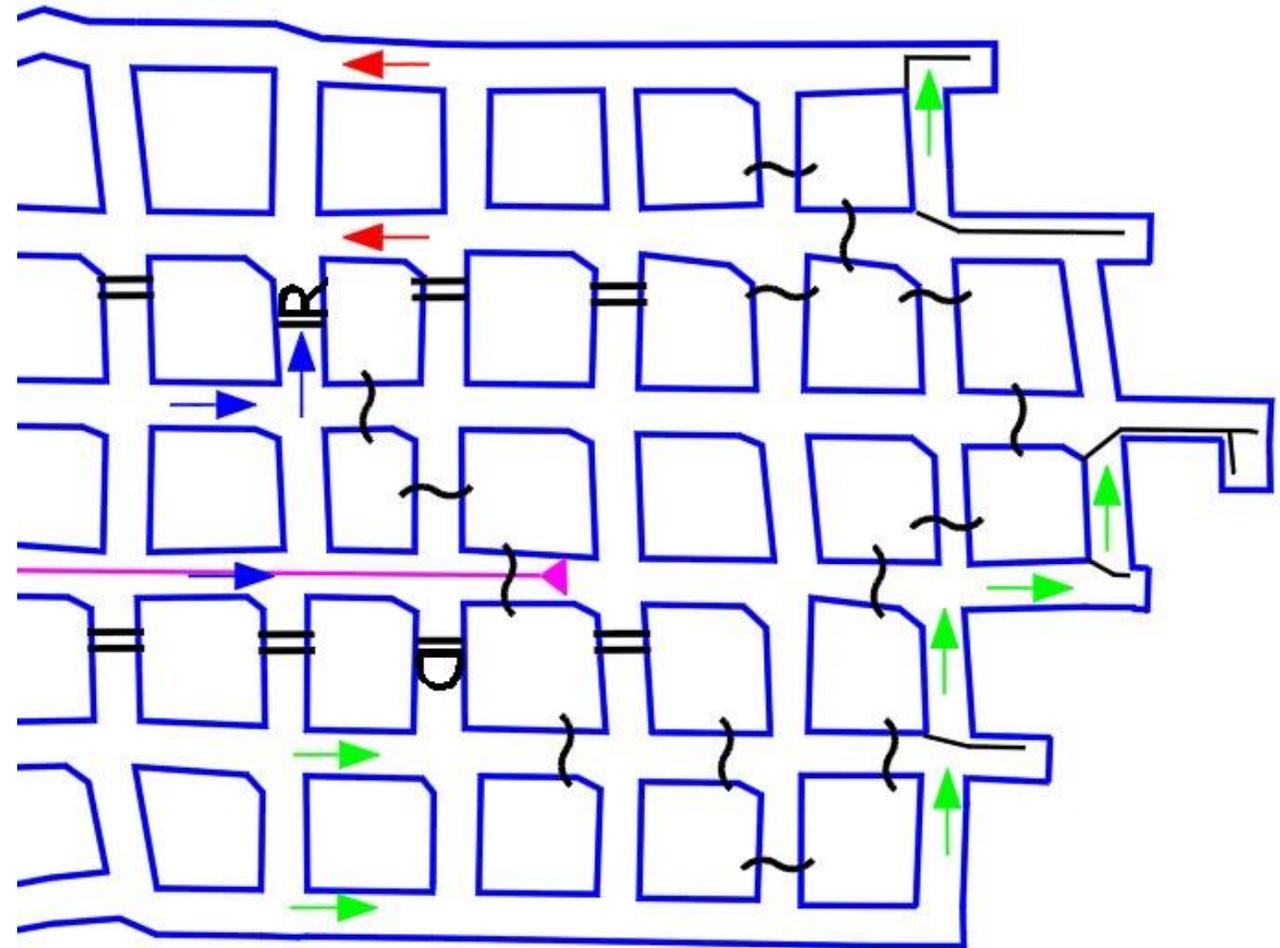
Plan de Ventilación



- La ventilación es un proceso tan importante que es una de las mejores prácticas el tener un plan de ventilación integral para controlar el metano que sea adecuado a las condiciones de la mina (requerido en Estados Unidos).
- Todos los mineros deben ser entrenados en el plan.
- Los cambios deben ser proporcionados a los representantes de los mineros y aprobados (por la MSHA) antes de ser implementados.
- Sólo los mineros que realizan cambios pueden estar en la mina durante los cambios.

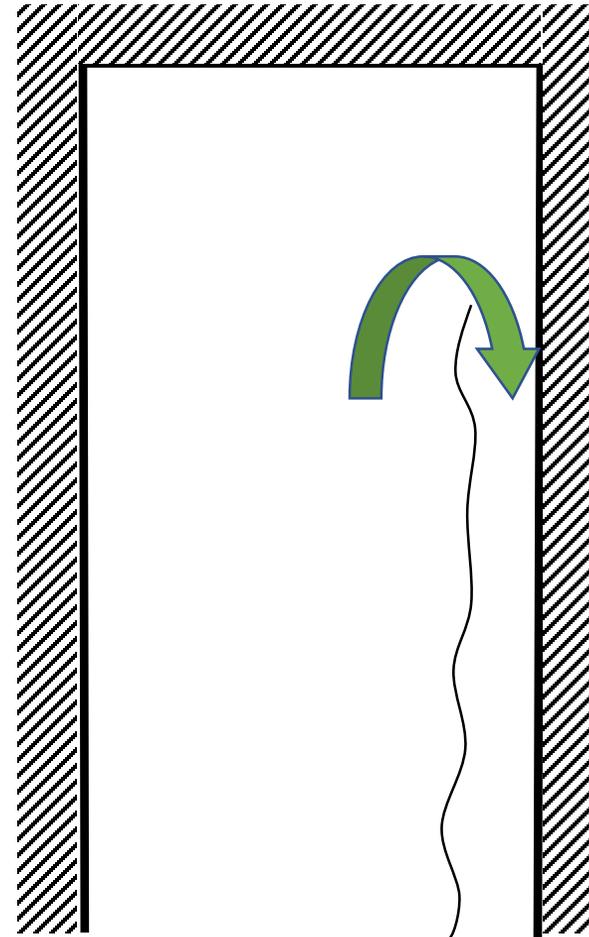
Ventilación de Sección Activa

- Cada cara de una sección de trabajo debe estar suficientemente ventilada para diluir y hacer inofensivo cualquier cantidad de metano que sea liberada.
- Las caras activas con extracción minera requieren mayores cantidades de aire, ya que el metano se libera durante el proceso de extracción.
- La ventilación adecuada se puede lograr mediante el uso de líneas de cortinas de **soplado** o de **escape** o de tubos de ventilación. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas.



Cara Ventilación - Escape

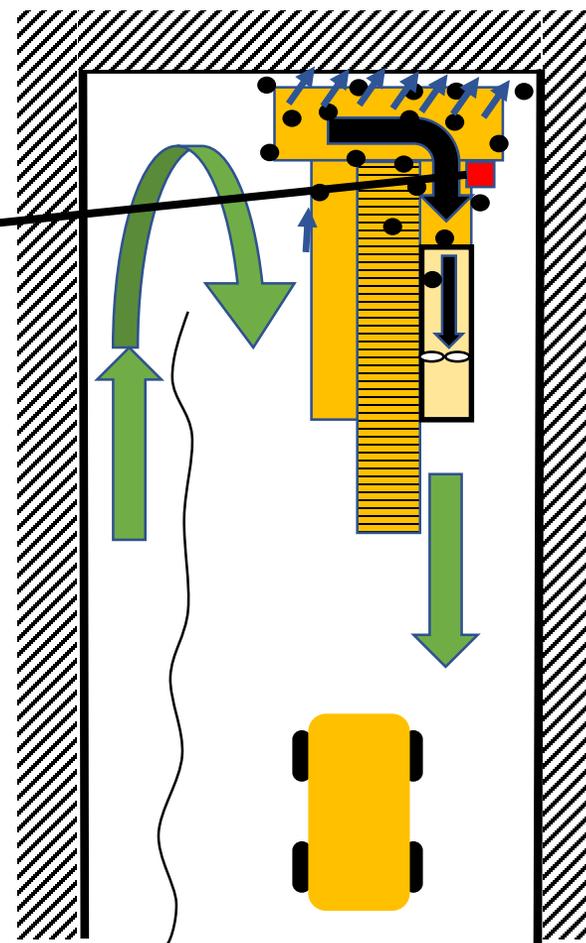
- Ventajas
 - Los mineros trabajan en el aire fresco
- Desventajas
 - El aire no pasa mucho más allá de la cortina
 - La cortina debe estar lo más cerca posible de la cara para eliminar el metano



Cara Ventilación - Soplado

- Ventajas
 - La mayor velocidad de flujo de aire lleva el aire fresco a los equipos mecanizados
- Desventajas
 - Operadores con el aire fresco
 - Se requiere eliminar el polvo para los equipos mecanizados
 - Cantidad de aire equilibrada a la capacidad del depurador de gases para equipos mecanizados para evitar la recirculación

Los monitores de metano instalados en los equipos mecanizados pueden desenergizar los equipos antes de que se desarrolle una mezcla explosiva



Los rociadores de agua mueven el aire y pueden proporcionar una cantidad de aire significativa a la superficie de trabajo cuando se instalan en equipos mecanizados

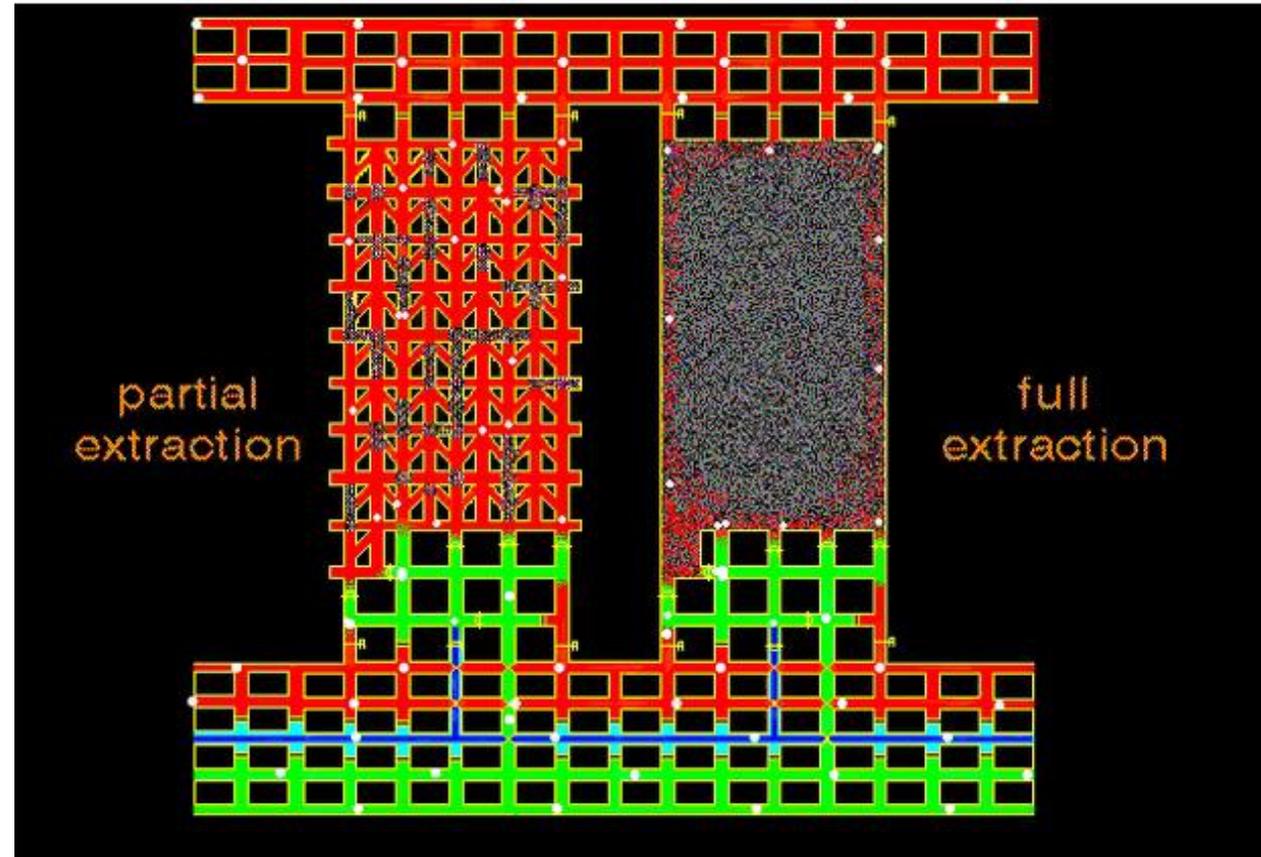
Ventilación de áreas trabajadas y con pilares



- Las mejores prácticas son:
 - Un sistema de purga debe ser utilizado para
 - controlar el aire que pasa por el área
 - mover las mezclas de metano - aire de la zona trabajada lejos de los trabajos activos
 - y en un trayecto de aire de retorno o a la superficie de la mina

Ventilación de áreas trabajadas y con pilares

EXTRACCIÓN PARCIAL



EXTRACCIÓN TOTAL

Exámenes



Llevar a cabo exámenes utilizando un detector de metano aprobado. Los detectores con monitoreo continuo son comunes ahora. Llevar a cabo exámenes para la cantidad, la calidad y la dirección del aire.

- Llevar a cabo exámenes en cada lugar de trabajo antes de comenzar a trabajar en ese lugar. Realizar exámenes periódicos durante el trabajo (cada 20 minutos en EE. UU.)
- Llevar a cabo exámenes en cada división de aire (cada 7 días en EE. UU.).
- Realizar exámenes para determinar la eficacia de los sistemas de purga (cada 7 días en EE. UU.).
- Examinar los ventiladores (diariamente en EE. UU.).
- El capataz de la mina debe revisar los resultados de los exámenes para determinar si la mina está ventilada de manera efectiva y se está siguiendo el plan.
- Poner los resultados de los exámenes a disposición de los mineros.

Drenaje del Metano



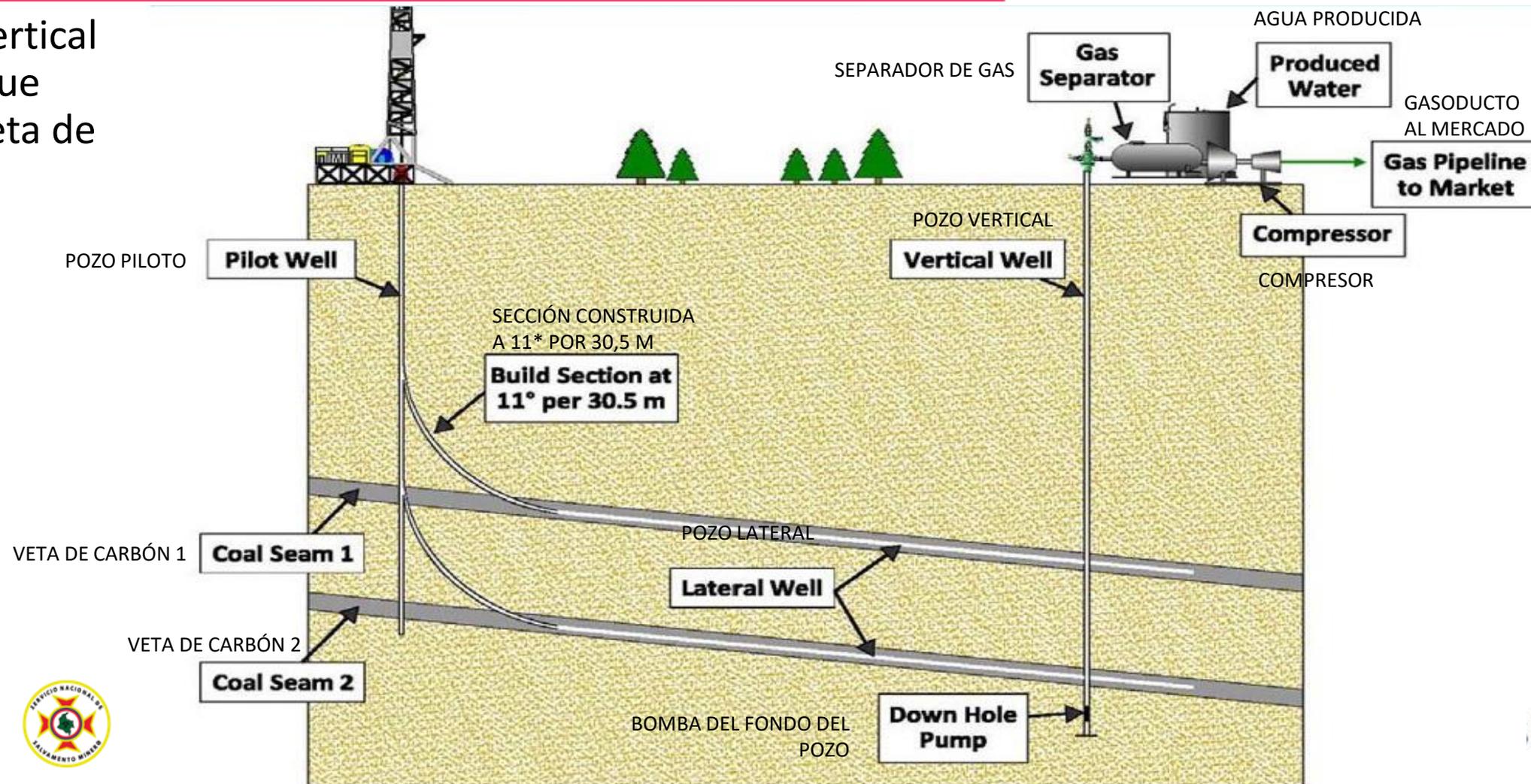
- El metano se puede eliminar antes o después de la extracción minera utilizando técnicas de drenaje previas y posteriores a la extracción minera.
- El drenaje previo a la extracción minera es un medio para reducir el flujo de gas directamente desde la veta minera. Algunas técnicas previas de drenaje incluyen:
 - Perforación vertical a horizontal que interseca la veta de carbón
 - Agujeros de drenaje en la veta perforados desde el interior de la mina
- Los métodos de drenaje posterior a la extracción minera implican perforar en el área de extracción y capturar el metano liberado por perturbaciones mineras. El método más común son los orificios de perforación de ventilación de goteo.

Drenaje Previo a la Extracción Minera



IV ENCUENTRO NACIONAL DE SOCORREDORES MINEROS
"Prevención y Control de Explosiones Subterráneas"
Conectados en línea para Salvar Vidas
NOVIEMBRE 27 /2020

- Perforación vertical a horizontal que interseca la veta de carbón



Drenaje Previo a la Extracción Minera

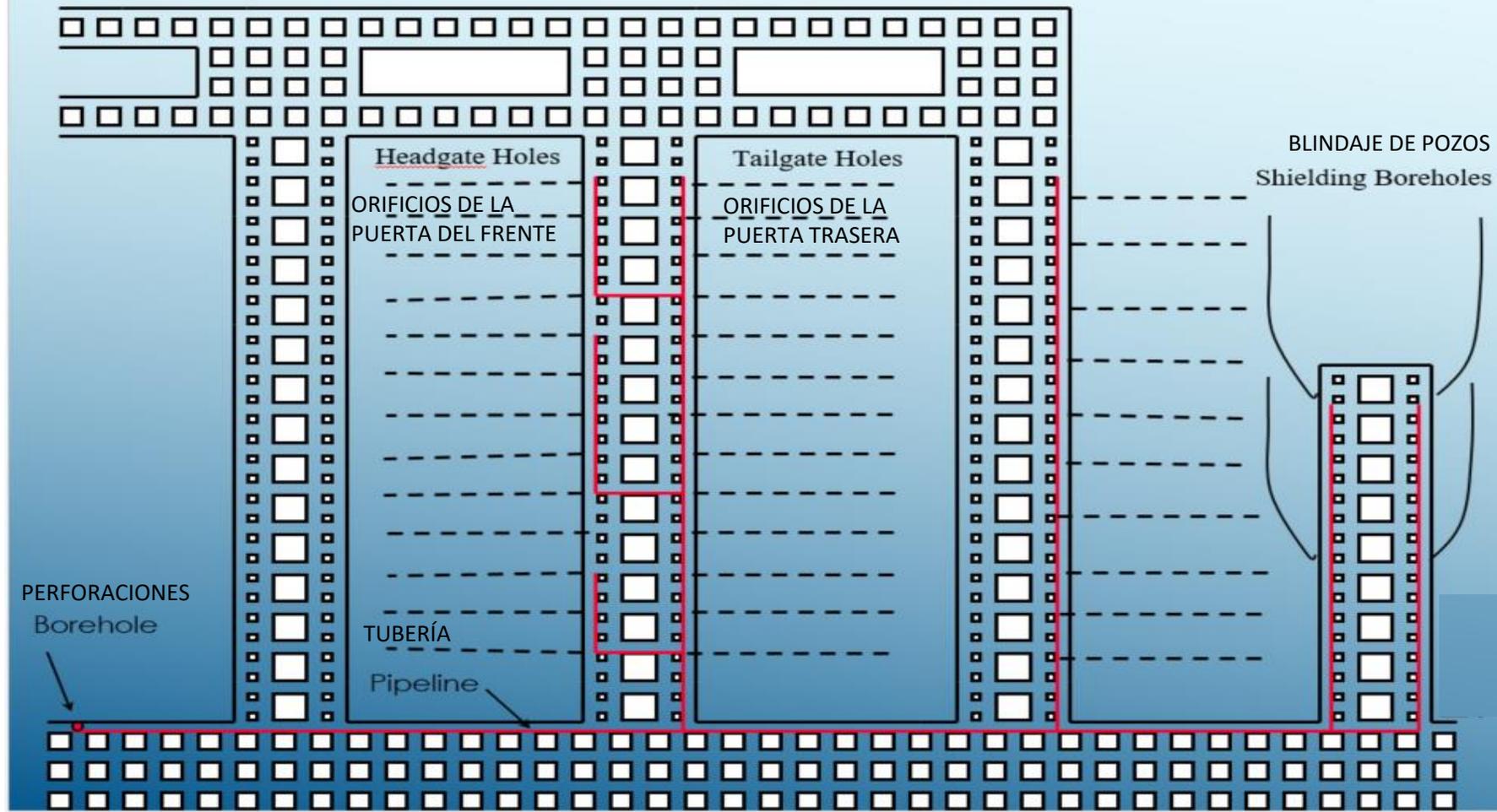


**IV ENCUENTRO NACIONAL
DE SOCORRORES MINEROS**
"Prevención y Control de Explosiones Subterráneas"
Conectados en línea para Salvar Vidas
NOVIEMBRE 27 /2020

- Orificios de drenaje en la veta perforados desde el interior de la mina

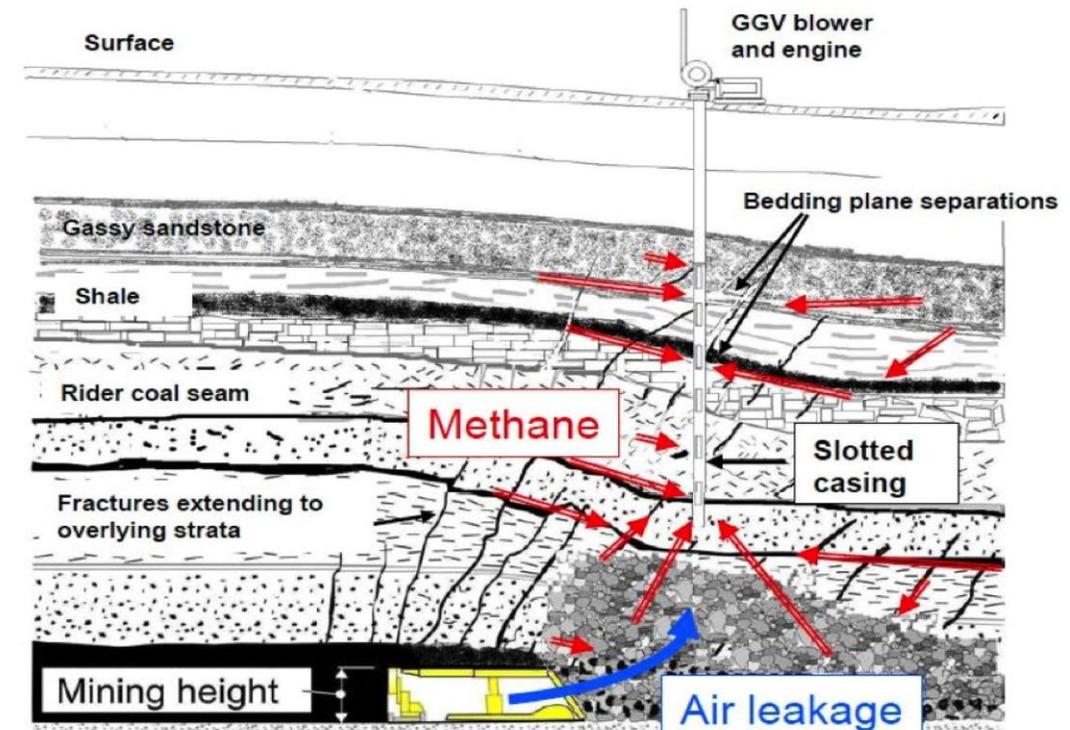
SISTEMA DE DRENAJE HORIZONTAL DE METANO

Horizontal Methane Drainage System



Drenaje Posterior a la Extracción Minera

- Los pozos de ventilación de goteo (GVB – *Gob Vent Boreholes* - por sus siglas en inglés) se perforan en los estratos de roca por encima de la veta de carbón sobre las áreas trabajadas de los paneles de pared larga.
- Los GVB se utilizan para drenar el gas de la zona de trabajo después de la extracción minera.
- El objetivo es capturar el gas de la roca fracturada por encima de la zona con pilares y evitar que ingrese en la mina.



CALOR – Fuentes de ignición en las minas



- El metano se enciende a unos 537 °C
- Fuentes de fricción
 - Brocas de corte (máquinas de minería continua y pernos de techo)
 - Estructura de la cinta transportadora / desalineación de la correa
- Fuentes eléctricas
- Trabajo en caliente (Corte y Soldadura)
- Voladura
- Fumar y luces abiertas
- Combustión espontánea
- Relámpago

Fuentes de calor de fricción



- Brocas de corte (máquinas de minería y pernos de techo)
 - Cortar carbón y roca genera calor.
 - Las brocas desafiladas generan más calor.
 - Las brocas calentadas pueden dejar una mancha de metal en la superficie de la roca lo suficientemente caliente como para encender el metano.
 - Los rociadores de agua correctamente instalados y mantenidos pueden enfriar la superficie de la roca.
 - Las brocas calientes en los aceros de perforación han encendido el metano cuando se retiran del orificio.
- Mejores prácticas
 - Examine las brocas antes y durante el trabajo. Sustituya las brocas desgastadas o dañadas.
 - Mantenga los rociadores de agua para enfriar las brocas y las superficies rocosas.

Fuentes de calor de fricción



- Cintas transportadoras
 - Las correas que rozan contra los soportes de madera han provocado incendios.
 - Las correas que rozan contra rodillos o estructuras atascadas pueden hacer que el metal sea lo suficientemente caliente como para encender los combustibles.
 - Las correas que corren en el carbón derramado pueden causar incendios.
- Mejores prácticas
 - Examinar las correas transportadoras en cada turno en su totalidad
 - Corregir la alineación deficiente de la correa
 - Cambiar los rodillos defectuosos con prontitud
 - Utilizar correas resistentes al fuego

Fuentes de ignición eléctrica



- Fuentes de ignición
 - Una chispa eléctrica con solo 0.3 mili julios de energía puede encender el metano.
- Mejores prácticas
 - Utilizar equipos a prueba de explosiones en las secciones de trabajo y en las vías de retorno de aire.
 - Mantener el equipo a prueba de explosiones y examinarlo regularmente.
 - Diseñar, utilizar y mantener un sistema de distribución de energía de la mina con conductores, disyuntores y un sistema de polo a tierra del tamaño adecuado.
 - Examinar todos los equipos eléctricos regularmente (cada 7 días en EE. UU.).
 - Retirar los conductores antes de construir los sellos.

Trabajo en caliente



- Soldar y cortar han causado numerosas explosiones.
- La escoria de las soldaduras y de los cortes han provocado incendios y han encendido al metano.
 - La escoria puede permanecer caliente y lograr que el combustible comience a arder por más tiempo de lo que mucha gente piensa.
 - La escoria que cae ha logrado encender el metano en los ejes.
- Mejores prácticas
 - Llevar a cabo exámenes de metano antes y durante el trabajo en caliente.
 - Humedecer el área alrededor del trabajo.
 - Usar mantas de soldadura para atrapar la escoria.
 - Llevar a cabo un examen después del trabajo para asegurarse de que todo esté fresco.

Voladura



- El uso de explosivos no aprobados ha sido la causa de incendios y de explosiones.
- Las malas prácticas, como disparar el sólido, aumentan las probabilidades de ignición.
- Mejores prácticas
 - Socavar el carbón antes de la voladura
 - Taladrar agujeros de granallado en un patrón aprobado
 - Utilizar solo explosivos aprobados con una corta duración de llama
 - Tapar correctamente los orificios de explosión para evitar explosiones
 - Nunca realizar disparos no confinados
 - Comprobar el circuito antes de disparar
 - Realizar el examen antes de disparar
 - Considerar la posibilidad de disparar durante los períodos de inactividad
 - Llevar a cabo exámenes después de disparar

Fumar y luces abiertas



- Mejores prácticas
 - Llevar a cabo requisas a los mineros en busca de artículos para fumar
 - Política de cero tolerancia

Combustión Espontánea



- La combustión espontánea es sólo un problema con ciertos carbones.
- Cuando se extraen carbones susceptibles a la combustión espontánea es necesario un plan integral.
- Un plan debería incluir:
 - Exámenes en busca de evidencia de calentamiento
 - Monóxido de carbono e hidrógeno
 - Niveles de acción y respuestas
 - Métodos para eliminar el oxígeno de la zona
 - Sellado
 - Equilibrio de presión
 - Inyección de nitrógeno

Relámpagos



- Varias investigaciones acerca de explosiones han identificado a los relámpagos como una fuente de ignición.
- La energía de un relámpago puede ser transportada a una mina por medio de conductores de metal.
- El campo electromagnético generado por los relámpagos puede energizar conductores bajo tierra con suficiente energía para encender al metano.
- Mejores prácticas
 - Utilizar detectores de rayos y pararrayos en los sistemas de energía de las minas
 - Utilizar un polo a tierra adecuado
 - Retirar los conductores antes de abandonar o sellar un área
 - Utilizar un revestimiento no conductor en las perforaciones

Eliminación de OXÍGENO



- Obviamente, esto sólo se aplica a las áreas selladas
- Las explosiones pueden y han ocurrido en áreas selladas. Para reducir este riesgo, el oxígeno se puede eliminar mediante:
 - Inyección de nitrógeno
 - Oxidación natural del carbón
 - Desplazamiento por metano
 - Escape / inyección de combustión
- Sellado
 - En los Estados Unidos, los sellos deben estar clasificados como al menos:
 - 120 psi (827.000 N / m²) o
 - 50 psi (345.000 N / m²) y las muestras tomadas para garantizar que la atmósfera de la zona sellada no sea explosiva.

Conclusiones



- Se requiere una ignición de metano para levantar el polvo de carbón y ponerlo en suspensión, proporcionando combustible para una explosión de polvo de carbón.
- Mejores prácticas:
 - Un límite de metano del 1 % en los lugares de trabajo proporciona un factor de seguridad de 5
 - Un plan de ventilación bien diseñado y ejecutado, y exámenes exhaustivos pueden prevenir grandes acumulaciones de metano
 - Un programa de limpieza puede prevenir grandes acumulaciones de polvo de carbón
 - El polvo de roca puede dejar inerte al carbón restante y al polvo flotante
 - Muchas prácticas recomendadas están disponibles para reducir / eliminar las fuentes de ignición
- Estas prácticas proporcionan un enfoque de múltiples capas para la prevención de explosiones
- En muchos casos, cualquiera de las anteriores mejores prácticas puede prevenir una explosión. Una mina debe fallar en varias áreas para que ocurra una explosión.
- Históricamente, se ha avanzado a través de la investigación, la educación y la aplicación de las normas obligatorias.

¿Preguntas?



- Información de contacto:
- Morley.Thomas@dol.gov