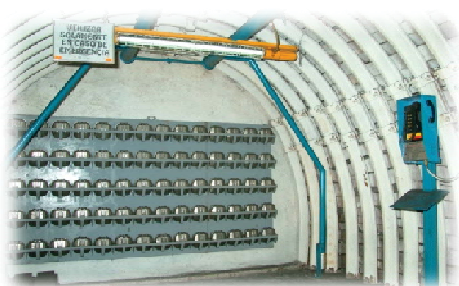




SECRETARÍA GENERAL
DE ENERGÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA
Y MINAS

TÉCNICAS DE CONTROL Y EXTINCIÓN DE INCENDIOS EN LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS EN LAS QUE SE EMPLEA TÉCNICA MINERA EN SU EJECUCIÓN



INDICE

1	ANTECEDENTES	1
2	OBJETIVO	2
3	PREÁMBULO.....	3
3.1	Antecedentes históricos.....	4
4	CONCEPTO DE FUEGO E INCENDIO	11
5	PROCESO DE COMBUSTIÓN	13
5.1	Química del incendio.....	13
5.2	Factores del incendio	15
6	CLASIFICACIÓN DE FUEGOS.....	20
7	IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES PELIGROS ASOCIADOS A FUEGOS E INCENDIOS	22
7.1	Intoxicación y asfixia.....	22
7.2	Quemaduras y golpes de calor	30
7.3	Explosión	32
8	TIPOS DE FUENTES DE IGNICIÓN	50
8.1	Fuentes de energía y focos de ignición causantes de incendios.....	50
8.2	Singularidades de estado	51
8.2.1	Gases inflamables.....	52
8.2.2	Sólidos inflamables.....	52
8.2.3	Incendios endógenos o causados por autoinflamación del carbón.....	53
9	FUEGOS E INCENDIOS EN MINAS Y OBRAS SUBTERRÁNEAS	55
9.1	Minas y obras subterráneas.....	55
9.1.1	Materiales combustibles.....	55
9.1.2	Fuentes de ignición	60
9.2	MINAS DE CARBÓN.....	65
9.2.1	Materiales combustibles específicos.....	65

9.2.2	Fuentes de ignición específicas: fricción de picas en el material de arranque	70
9.2.3	Estudio de la autocombustión del carbón como fuente de ignición específica.....	71
9.2.3.1	El origen de la autocombustión del carbón.....	71
9.2.3.2	Mecanismo de la autocombustión: Teoría de la autoignición.....	71
9.2.3.3	Propiedades de los carbones en relación con la autocombustión.	72
9.2.3.4	Factores que influyen en la autoinflamación del carbón.....	83
10	EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO.....	88
10.1	Propuesta de evaluación de riesgo de fuego e incendios mediante listas de chequeo.....	92
10.2	Otros métodos de evaluación.....	105
11	MEDIDAS DE PREVENCIÓN.....	109
11.1	Autocombustión.....	109
11.2	Gases inflamables en minas de carbón.....	126
11.3	Combustibles líquidos.....	139
11.4	Combustibles sólidos.....	140
11.5	Máquinas móviles.....	141
11.6	Equipos eléctricos.....	145
11.7	Electricidad electrostática.....	152
11.8	Soldadura y oxicorte.....	154
11.9	Explosivos.....	156
12	DETECCIÓN DE FUEGOS E INCENDIOS.....	161
12.1	Sistemas de detección.....	161
12.1.1	DetECCIÓN manual.....	162
12.1.2	DetECCIÓN automática.....	163
12.2	DetECCIÓN de la autocombustión de carbón: fuegos en minas de carbón...	176
12.2.1	Métodos de detección.....	176
12.2.2	El desprendimiento del monóxido de carbono.....	181

12.2.3	Detección mediante otros gases indicadores	190
12.2.4	Detección de fuegos mediante gas radón.....	191
12.3	Detección de incendios en explotaciones mineras en general	192
13	LUCHA CONTRA FUEGOS E INCENDIOS.....	197
13.1	Evacuación del personal.....	197
13.2	Control de fuegos	208
13.2.1	Principios básicos de lucha contra un fuego	208
13.2.2	Principales agentes extintores	211
13.2.3	Métodos de lucha contra incendios en minas de carbón	224
14	NORMATIVA APLICABLE	250
15	BIBLIOGRAFÍA.....	251

1 ANTECEDENTES

Como resultado del Convenio Específico realizado entre la Dirección General de Política Energética y Minas, y la Universidad Politécnica de Madrid, por medio del Laboratorio Oficial José María Madariaga, firmado el día 4 de julio de 2003, se consideró necesario aunar sus esfuerzos, a fin de realizar el estudio relativo a la **“Elaboración de un documento sobre técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas en las que se emplea técnica minera en su ejecución”**.

2 OBJETIVO

El objetivo que se persigue con este proyecto es la eliminación del riesgo de generación y propagación de un incendio, en las obras subterráneas donde se emplee para su ejecución técnica minera.

Para ello se llevará a cabo un “Documento sobre el control y extinción de incendios en las obras subterráneas en las que se empleen técnica minera para su ejecución”, donde se pretende fundamentalmente hacer hincapié sobre técnicas de control que prevengan la generación y, de igual modo, sobre procedimientos y técnicas de extinción seguras.

3 PREÁMBULO

En las obras subterráneas, los fuegos son origen de daños muy graves tanto para las personas como para los materiales, en condiciones muy variables según la naturaleza, la intensidad y la situación del foco que los originan.

Los fuegos suponen una amenaza para las estructuras, tanto interiores como del exterior, provocan perturbaciones en la ventilación y dificultan el ritmo de trabajo normal, que da lugar, en el caso de las minas, a una disminución en la producción además de suponer pérdidas importantes de materia prima para las mismas.

De forma inmediata, los fuegos generan una serie de efectos como son; quemaduras, intoxicación y asfixia. Además, el humo producido por un fuego, implica la generación de una serie de gases, en su mayoría muy perjudiciales, de los que destaca el monóxido de carbono, que representa el mayor riesgo.

Las causas del fuego o incendio pueden ser diversas, ya que dependen de los materiales combustibles disponibles dentro de la obra y de la fuente de ignición que entre en contacto con los mismos.

En el caso particular de las minas de carbón, una fuente importante que da origen a la mayoría de los fuegos e incendios en la mina, es la combustión del propio carbón, llamado autoinflamación, autocombustión o combustión espontánea del carbón. Debido a la complejidad de la estructura, de los sistemas de ventilación y la variedad de los materiales combustibles, en este proyecto se ha desarrollado de forma particular el riesgo existente en las minas de carbón.

Gracias a la colaboración de diferentes empresas, a la recopilación de información bibliográfica realizada por el equipo de trabajo seleccionado del Laboratorio Oficial J.M. Madariaga, y a los equipos y materiales necesarios para la realización de las tareas, se ha obtenido este documento, que no pretende ser sino una guía de ayuda para la prevención de fuegos e incendios, donde se analizan los factores que hacen posible la aparición de un fuego y las medidas de prevención y extinción utilizadas actualmente.

3.1 Antecedentes históricos

Los fuegos e incendios constituyen uno de los mayores peligros que afectan a la seguridad en las obras subterráneas. Además, ocupan el segundo lugar por

el número de víctimas en minería, después de las explosiones de gas y de polvo de carbón. Informes de Bureau of Mines U.S.A., indican 671 muertos, por incendios ocurridos en EE.UU., desde 1900.

En la mina belga Bois de Caziar, se produjo un incendio el 8 de agosto de 1956 que provocó la muerte de 263 personas.

Según la Oficina de Reclamación de Minas Abandonadas, Pensylvania representa actualmente el 94% de los fuegos iniciados en minas subterráneas. Uno de los fuegos más antiguos de esta zona, arde desde 1980 bajo el Parque de Boyce.

El conjunto de fuegos subterráneos provoca daños en la salud debido a las continuas emisiones de gases a la atmósfera, y a las aguas ácidas de drenaje que contaminan la mayor parte del territorio.

Los incendios en determinadas explotaciones mineras hulleras gaseosas, pueden ir acompañados de explosiones de grisú y de polvo de carbón, lo que complica la lucha contra los mismos y aumenta el peligro para los mineros, que además de correr peligro por asfixia, también pueden ser traumatizados por la onda explosiva.

En España, no se dispone de datos precisos que permitan evaluar el número de accidentes fatales debido a fuegos e incendios, sin embargo, en determinadas explotaciones mineras sí disponen de datos de las graves pérdidas económicas motivadas por fuegos que han ocasionado la paralización de la explotación durante largos periodos. Los gastos materiales ocasionados por los incendios de minas consisten en los gastos inmediatos para la lucha contra ellos, el restablecimiento de las labores dañadas y las pérdidas de materia útil, que a veces alcanzan un 40%, y más de las reservas de carbón de alta calidad de la sección afectada.

El 31 de octubre de 2001, se produjo una emergencia por incendio en la mina subterránea de carbón "Sierra de Arcos" que posee el grupo SAMCA en Ariño (Teruel), durante un relevo en el que se encontraban 30 mineros en el interior de la misma. Al parecer fue ocasionado por un soplete.

Las llamas afectaron al material de la mina, a las tuberías de ventilación e incluso a la cinta transportadora, generándose una importante cantidad de humos que se incorporaron a la corriente de ventilación. La monitorización automática de los parámetros de ventilación, con medición continua de monóxido de carbono, y los sistemas de comunicación existentes permitieron activar la alarma inmediatamente, invertir la ventilación y poner en marcha los sistemas de emergencia previstos, que funcionaron adecuadamente y evitaron víctimas. El equipo autorrescatador fue fundamental ya que permitió a los mineros atravesar la zona invadida por el humo. El

fuego fue confinado por la brigada minera de SAMCA mediante tabicado para evitar su expansión, y se vertió posteriormente agua para el apagado del fuego.

Existen, además, otros fuegos originados en los diferentes pozos de la empresa HUNOSA, ocurridos en estos últimos cinco años:

- Pozo Monsacro

22/10/1996:

Se detectó la aparición de monóxido de carbono en la explotación pozo múltiple (subniveles 17 y 18), y se comprobó que, a través de la llave de madera construida en las cercanías del segundo recorte sobre la capa 18, ya sutirado en la parte de atrás, fluía CO en proporción superior a 300 ppm. Se procedió a aislar el posible foco de calentamiento del carbón mediante la aplicación de resinas en la llave de madera, para posteriormente construir un tabique de bloques en el exterior de la llave.

El 20 de noviembre se detectó un aumento del nivel de CO y humo saliendo por la parte superior del tabique. Se realizó un segundo tabique de bloques junto al primero. Con el fin de retrasar el fuego, en caso de que consiguiese atravesar los tabiques del nivel, se dejaron dos cánulas para inyectar agua entre el recorte y los tabiques.

10/04/1997:

Se produjo un incendio en el cabestrante del scraper con motor eléctrico en el nivel de avance de una capa. Una vez cortada la alimentación eléctrica en el cofre, se autoextinguió el fuego antes de rociar con polvo extintor. La causa más probable fue la ignición del líquido hidráulico al contacto con el disco de freno, que se encontraba a alta temperatura debido al rozamiento de las pastillas sobre el disco. El rozamiento, a su vez se produjo por un anormal funcionamiento del sistema hidráulico de manera que la bomba mantenía una presión residual y constante del freno sobre el disco.

24/12/1997:

Se detectó un incendio el 26 de diciembre, ocurrido el 24 de este mismo mes al disparar en un nivel, cuando las llamas ya se habían comunicado a lo largo de las galerías, llegando a afectar todo el cuartel del lado este del pozo. El fuego se atacó por diversos medios; agua tabiques y productos químicos, reanudándose la actividad en febrero de 1998.

07/05/1999:

Una vez realizados cinco tiros para el sutiraje, se observó que, en el retorno, el nivel de monóxido de carbono no se reducía de manera sustancial. Se dedujo la existencia de una deflagración en el retorno del hundimiento, que se transmitió al resto de la explotación.

-Pozo Pumarabule

10/04/1997:

Se detectó un fuego en la zona minada mediante la detección de CO en una capa. Se midieron hasta 200 ppm de CO en el retorno parcial de dicha capa, y, posteriormente, se procedió a la inyección de espumógeno en la galería de la planta, se realizó un tabique para impedir la entrada de ventilación hacia la labor afectada. Tras interrumpir la inyección de espumógeno, se procedió a la impermeabilización de los minados con arena mojada y apisonada.

- Pozo San Nicolás

10/09/1999:

Se detectó un foco de incendio en el lugar donde se habían disparado unos tiros cortos. El estéril estaba en fondo de saco, por los que se procedió a parar la ventilación aspirante y a realizar los trabajos de extinción del incendio regando con agua.

- Pozo Carrio

24/06/1997:

Se produjo un incendio al producirse una pequeña deflagración de gas en el frente de carbón, por debajo de la rozadora que en ese momento ascendía por el taller. Se procedió de inmediato a la extinción de la llama por medio de la manguera de agua a presión existente a lo largo del taller y posteriormente con un extintor.

- Pozo Candín

20/10/2001:

Se detectaron en el control ambiental incrementos anormales en el porcentaje de CO. Al parar la turbina que ventilaba el 5º nivel, disminuían rápidamente los niveles de CO en los retornos, lo que hacía sospechar la posibilidad de un incendio en dicho nivel. Tras inspeccionar el lugar, se detectó un incendio a 100 m. por detrás del frente que afectaba a dos cuadros. Se apagó con agua y espuma extintora.

- Pozo María Luisa

17/02/2002:

Se detectó en el control ambiental un súbito aumento de la concentración de CO en el cubo de ventilación de una planta, comprobándose posteriormente una fuerte presencia de humo en la zona. La causa probable del incendio fue la autocombustión. Se procedió, entonces, a la inversión de la ventilación principal y, simultáneamente, se sustituyeron las lonas afectadas del circuito auxiliar de la labor incendiada, pasándola a aspirante y diluyéndose en el circuito general. Se inyectó agua con un inhibidor químico a través de cánulas por la capa, y se regó el carbón de la zona de las coronas.

También hay registrados fuegos en las minas de S.A.H.V.L.

3/01/96

Se produjo una autocombustión en el carbón de un taller en el Grupo Socavón como consecuencia de corrientes parásitas de ventilación en los minadores. Se fue controlando la situación mediante inyección de agua, espumógeno y la utilización de medidores de CO y autorrescatadores, pero en ningún momento se extinguió totalmente hasta la finalización del Grupo en el año 1999.

10/09/96

Por medio de la utilización de un soplete para cortar los tornillos de una brida en la red de aire comprimido, se produjo una pequeña deflagración del grisú almacenado en la campana de la galería en cuestión. A consecuencia de ésta se incendió la madera de la entibación, lo que obligó a desalojar el Grupo Santa Lucía e intervenir la Brigada de Salvamento que lo extinguió con el agua de la red.

18/10/02

Tras el disparo con explosivos a la llave de carbón en un taller del Grupo Competidora, se declaró un fuego en el carbón que hizo abandonar temporalmente la explotación del Macizo 7º. Con el taponamiento de todo el macizo mediante tabiques y resinas de alta calidad, con el enfriamiento mediante inyección de agua con sal como retardante de la combustión, con la inertización con N₂ de la zona conflictiva y sobremanera por el deshornado y ataque directo de las brasas por los brigadistas, se pudo extinguir el foco del fuego en unos tres meses y poner en servicio con normalidad de la explotación.

En cuanto a incendios o fuegos ocurridos durante la construcción de otras obras subterráneas, se han recogido datos sobre el incendio ocurrido en el túnel del AVE para la línea Madrid-Valladolid.

Ocurrió el 6 de agosto de 2003, a la altura de Riofrío (Segovia), donde 33 trabajadores quedaron atrapados durante 6 horas en el interior del túnel, debido a un fuego producido por una locomotora diesel a menos de un kilómetro de la entrada al túnel.

El fuego provocó que los trabajadores quedaran atrapados a 4 kilómetros de la boca de entrada.

El incendio dañó el conducto de ventilación de la obra, sin embargo, dentro de la máquina tuneladora donde trabajaban los operarios, se había formado una bolsa de aire que les había permitido seguir con vida. Los sistemas de alarma funcionaron de inmediato, lo que permitió el bloqueo de la entrada de aire al fondo del túnel, de modo que en la zona donde se refugiaron los trabajadores hubiese suficiente oxígeno disponible hasta su rescate.

4 CONCEPTO DE FUEGO E INCENDIO

El **fuego** es una reacción química de oxidación-reducción que va acompañada de un desprendimiento de calor y luz de intensidad variable. Este desprendimiento de luz y calor va acompañado por la combustión de ciertos cuerpos.

Para que pueda producirse la reacción química en la combustión es necesaria la presencia de cuatro elementos: combustible, comburente, fuente de ignición y reacción en cadena.

Un **incendio** se define como un fuego que ha sobrepasado la etapa inicial y ha alcanzado un desarrollo considerable.

Según estas definiciones, no habrá pues entre fuego e incendio más que una diferencia de intensidad y las actividades de prevención de incendios tendrán como finalidad limitar la presencia del riesgo de fuego y las circunstancias que puedan desencadenar el incendio.

En el ámbito de la minería del carbón se conoce como **fuego** a una combustión viva o lenta resultante de un calentamiento espontáneo, es decir, cebada y desarrollada sin aporte exterior de calor, constituyendo la última fase de una serie de procesos físico-químicos, en los cuales influyen los factores geológico-mineros de la capa: potencia, pendiente, composición del carbón, estructura geológica y reactividad, y las condiciones de explotación: ventilación, relleno o hundimiento, ritmo de los trabajos y efectos del hueco creado.

Por el contrario, en minería se define incendio como una combustión viva general, cebada por un aporte exterior de calor que puede provenir, en este caso, de:

- un fuego desatado sobre materiales combustibles.
- una explosión de grisú o de polvo.
- frotamientos mecánicos.
- funcionamiento anómalo de aparatos eléctricos o de motores de combustión.

5 PROCESO DE COMBUSTIÓN

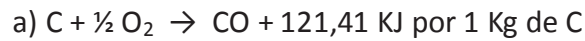
5.1 Química del incendio

El proceso fundamental inherente en todo incendio es el desarrollo de una reacción de oxidación-reducción, exotérmica, que denominamos combustión.

En terminología de incendios, el reductor es el denominado **combustible** y la mezcla gaseosa que contiene el oxidante en concentración suficiente para que en su seno se desarrolle la reacción se denomina **comburente**. Las reacciones entre ambos producirían la llamada **combustión**.

El factor principal para que se produzca la reacción química del fuego, depende fundamentalmente del estado de la materia y de su facilidad para el intercambio químico "oxidación-reducción".

Los elementos determinantes de la materia combustible, son el carbono y el hidrógeno. El carbono entra en combustión por las siguientes reacciones:



Para iniciar un incendio es necesario que el combustible y comburente se encuentren en el espacio y el tiempo, en un estado energético suficiente para que el choque sea efectivo, verificándose la reacción (figura 1). La energía precisa para que el combustible y comburente reaccionen se denomina “energía de activación” y es aportada por los focos de ignición.

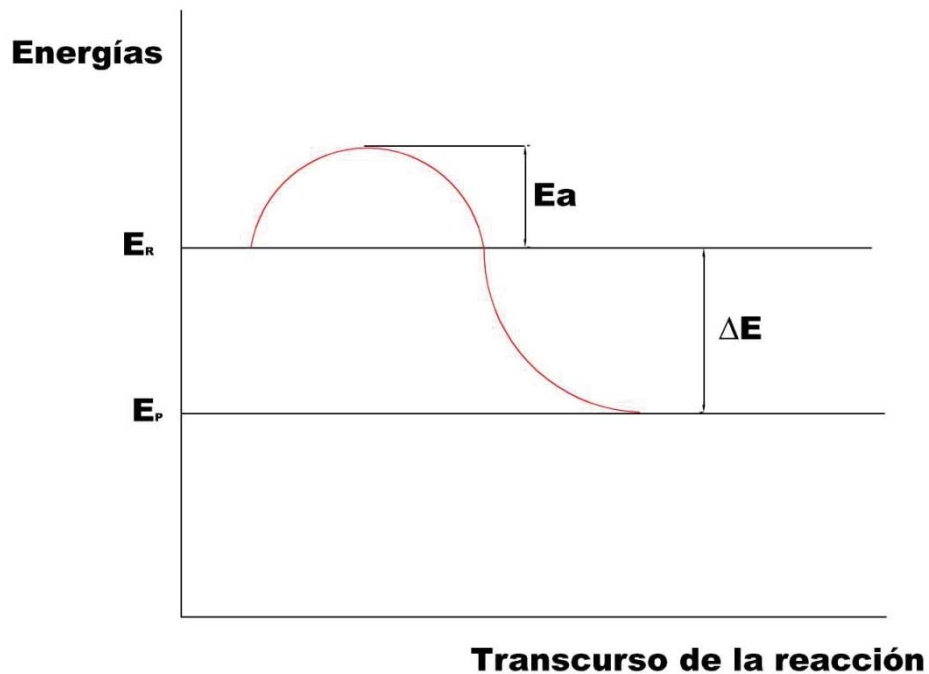


Figura 1. Energía de una reacción de óxido-reducción

donde:

E_R = Energía de los productos reaccionantes.

E_p = Energía de los productos de la reacción.

E_a = Energía de la activación.

$A_E = E_R - E_p$ = Energía desprendida en la reacción.

La íntima relación oxidante y reductor sólo se logra mediante el aporte de una energía que aumentará la rapidez del proceso químico.

De la energía desprendida en la reacción, parte es disipada al ambiente provocando los efectos térmicos derivados del incendio, y el resto calienta a más productos reaccionantes aportando la energía de activación precisa para que el proceso continúe. Si la energía de activación no es suficiente, el proceso se detiene, y si es igual o superior a la necesaria, el proceso se acelera y provoca una reacción en cadena.

5.2 Factores del incendio

Como se ha comentado en el apartado de *concepto de fuego e incendio*, para que pueda producirse un fuego, es necesaria la presencia de cuatro elementos: el combustible o alimento de la combustión (gasolina, papel, carbón...), el comburente (oxígeno), el calor y un factor adicional que es la reacción en cadena. Sin la presencia simultánea de estos cuatro elementos no es posible obtener un fuego.

Tradicionalmente, se ha presentado el fuego por un triángulo, denominado “triángulo del fuego”, cuyos lados corresponden a los tres elementos necesarios para que se produzca el mismo.

El cuarto factor, la velocidad de oxidación o reacción en cadena, viene determinado por la formación de radicales libres producidos por el calor, los cuales recombinan dando lugar a humos y gases de combustión. Estas recombinaciones sucesivas generan más calor aún, que, a su vez, producen más radicales libres obteniéndose una reacción en cadena.

La reacción en cadena, por tanto constituye un último elemento que da lugar al llamado “tetraedro del fuego” (figuras 2 y 3).



Figura 2. Triángulo del fuego

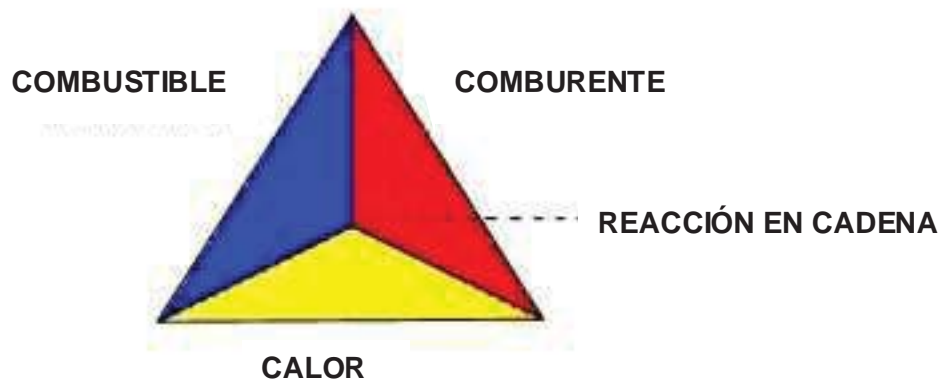


Figura 3. Tetraedro del fuego

- Comburente

En caso de existir una deficiencia de aire comburente en el proceso, no se manifestaría todo el calor efectivo de la combustión. En caso de tener un exceso de aire, queda rebajada la temperatura que han desarrollado los gases quemados.

- Combustibles

Son todas las sustancias susceptibles de combinarse con el oxígeno en una reacción rápida y exotérmica. Para que ocurra esta reacción son necesarios los siguientes parámetros:

Ignición: es el fenómeno que inicia la combustión. Puede ser provocada por agentes externos o bien por autoignición o inflamación espontánea en el caso del carbón.

Temperatura de ignición: temperatura mínima que necesita alcanzar una sustancia para inflamarse.

Reacción en cadena: ocurre cuando la cantidad de combustible y oxígeno es suficiente. La ignición continúa hasta que se consume todo el combustible u oxidante existente, o hasta que la llama se apague por enfriamiento, disminución del número de moléculas excitadas, u otras causas.

Iniciación de la llama: en los líquidos y sólidos combustibles la ignición de la llama se produce en la fase gaseosa. Primero se suministra calor para convertir una parte del combustible en vapor. Se crea la mezcla "vapor-aire" cerca de la superficie del combustible.

Punto de ignición-temperatura superficial: temperatura mínima que se debe aportar a un sólido o líquido para generar una mezcla inflamable en su superficie.

Límites de inflamabilidad: es la concentración mínima y máxima del combustible entre las cuales se puede propagar la llama, una vez iniciada.

Temperatura de inflamación en el aire: mínima; por debajo de la cual la mezcla es pobre para formar una mezcla inflamable, máxima; por encima de la cual la mezcla es demasiado rica en combustible para propagar la llama.

Punto de inflamación: es la temperatura más baja que necesita un líquido contenido en un recipiente abierto para emitir vapores en proporción suficiente para permitir la combustión continuada.

Catalizadores e inhibidores de reacción: los catalizadores son unas sustancias cuya presencia incrementa fuertemente la velocidad de una reacción, mientras que los

inhibidores son un producto químico que puede agregarse en pequeña cantidad a una materia inestable para impedir la reacción vigorosa.

- Calor específico

Es la cantidad de energía térmica necesaria para aumentar un grado la temperatura la unidad de masa de una sustancia. Esta energía es aportada por los focos de ignición, que pueden ser eléctricos, mecánicos, térmicos y químicos.

Las cifras del calor específico tienen importancia para la protección contra incendios, pues indican la cantidad relativa de calor necesaria para elevar las temperaturas de ciertos materiales a un punto peligroso, o la cantidad de calor que debe suprimirse para enfriar una sustancia caliente y ponerla a una temperatura de seguridad. El calor específico del agua es más alto que el de la mayoría de las demás sustancias, y este es el motivo de la eficacia del agua como agente extintor. El calor latente (calor absorbido por una sustancia al pasar entre las fases líquida y gaseosa) es también mayor en el agua que en las demás sustancias.

- Reacción en cadena

Se distinguen las siguientes etapas: ignición, propagación y consecuencias.

Ignición: es el conjunto de los cuatro factores o elementos del fuego. Se produce cuando un combustible, en determinadas condiciones, entra en contacto con el aire y recibe la energía de activación suministrada por un foco de ignición.

Propagación: es la evolución de un incendio en el espacio y tiempo. Puede tener lugar por conducción, convección, por radiación y por desplazamiento.

Conducción: es la transmisión del calor de las zonas de mayor a las zonas de menor temperatura de un cuerpo. Las partículas de las zonas más calientes comunican su agitación térmica a las de las zonas más frías al chocar con ellas, propagándose las partículas de las zonas calientes hacia las regiones de temperatura más baja.

Convección: es el transporte vertical del calor como consecuencia del aire recalentado en contacto con el suelo, que debido a su menor densidad, asciende a las capas más altas y frías.

Radiación: es una forma transmisión de energía a través de ondas electromagnéticas.

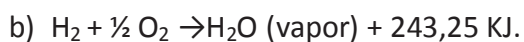
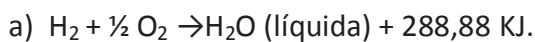
Consecuencias: son los daños a bienes o a personas derivadas del incendio y propagación del mismo.

Las consecuencias a personas son generalmente provocadas por la imposibilidad de evacuación y desorientación de las personas por falta de visión, sufriendo quemaduras, asfixia e intoxicación como consecuencia de los humos y gases de combustión.

- Potencial calorífico

Varía de unos a otros combustibles y se define como el calor desarrollado por un material durante su combustión. Esto es, el calor que puede desprender el combustible por unidad de peso del mismo; se expresa en calorías por Kg., o por m³ si en lugar de tomar la unidad de peso, se toma la de volumen.

El potencial calorífico se expresa en kilojulios, y puede determinarse a dos niveles: superior e inferior, según el contenido de humedad del material en combustión se considere en estado líquido o de vapor. Así:



a) Determina el poder calorífico superior ya que el agua procedente de la combustión se considera en estado líquido;

b) Expresa el poder calorífico inferior. El agua producida está en fase vapor.

6 CLASIFICACIÓN DE FUEGOS

Los fuegos se clasifican según el tipo de combustible consumido. De esa manera, se obtiene la siguiente clasificación, de acuerdo con la norma UNE-EN 2: 1994;

Clase A: es el fuego producido sobre materiales combustibles ordinarios, como madera, ropa, papel, o plásticos. Se caracterizan por la formación de brasas, propagando el calor de dentro a fuera. Los agentes extintores podrían ser: agua a presión, espuma de alta expansión, arenas y anhídrido carbónico.

Clase B: es el fuego producido sobre líquidos inflamables grasas, pinturas, disolventes, gasolinas o aceites lubricantes. Son fuegos de tipo superficial, propagándose el calor de fuera a dentro. Los agentes extintores son: el agua a presión, hidrocarburos halogenados, polvos químicos secos, espuma de alta expansión y el anhídrido carbónico.

Clase C: es el fuego de gases combustibles; butano o gas ciudad, ocurrido en presencia de instalaciones eléctricas. Un método de extinción efectivo para este tipo de fuego es

el extintor de derivados halogenados, ya que es un gas que no conduce la electricidad. También serían efectivos como extintores los polvos químicos secos.

Clase D: es el fuego sobre metales combustibles, como el Magnesio, el Aluminio o el Titanio, y requiere de un medio de extinción absorbente de calor que no reaccione con lo metales en combustión. El agente usado para este tipo de fuego es el cloruro sódico.

7 IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES PELIGROS ASOCIADOS A FUEGOS E INCENDIOS

Independientemente de la causa, un fuego es el origen de múltiples afecciones o procesos que pueden desencadenarse si llegaran a unas dimensiones determinadas. Entre las consecuencias de un fuego se encuentran las que se citan a continuación.

7.1 Intoxicación y asfixia

Los accidentes respiratorios provocados por un fuego, un incendio o una explosión, resultan de un déficit de oxígeno en el aire o la presencia de gases tóxicos. Se clasifican, por tanto, en:

Anoxia: privación de oxígeno, causa de desórdenes o incluso muerte provocada por la asfixia.

Asfixia: desórdenes causados por la parada de la respiración.

Intoxicación: introducción o acumulación espontánea de un veneno en el organismo; la asfixia por monóxido de carbono es una intoxicación.

Los gases que producen algunos de estos efectos, tanto por su ausencia o presencia en cantidades insuficientes (oxígeno), o porque aparecen en determinadas concentraciones, se desarrollan a continuación, en la tabla 1.

Tabla 1. Gases presentes en la mina. Efecto sobre las personas y origen

GASES		ORIGEN
Necesarios para la respiración	Oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> • Atmósfera exterior. • Por regeneración del aire de respiración en equipos de autosalvamento. • Por generación en equipos de respiración con botella de O₂ generación por vía química.
Anóxicos O Asfixiantes	Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • Atmósfera exterior. • Aportación del exterior como gas inerte para extinción de fuegos o incendios.
	Metano	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento en la mina.
	Anhídrido carbónico	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento de CO₂ en la mina (No se conoce en España). • Oxidación lenta del carbón y la madera.
Tóxicos químicos	Monóxido de carbono	Fuegos e incendios. Combustión lenta del carbón. Incendios y calentamientos de bandas transportadoras, aceites, cables eléctricos y otras sustancias plásticas
	Gases Nitrosos (NO y NO ₂)	Voladura de explosivos. Gases de escape de motores de combustión interna.
Tóxicos químicos	Sulfuro de Hidrógeno	Aguas estancadas
	Dióxido de Nitrógeno	Oxidación del NO producido por explosivos y gases de escape.
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido fórmico • Ácido cianhídrico • Dioxina 	<ul style="list-style-type: none"> • Mala ventilación en el empleo de espumas de Ureaformaldehido (Ej. Isochaum). • Combustión de poliuretano. • Emisión de vapores de difenilos y trifenilos (piraleno).

Oxígeno:

Efectos fisiológicos:

Con una proporción de oxígeno menor del 18% en volumen comienzan a aparecer desórdenes fisiológicos, que van agravándose a medida que disminuye el contenido, apareciendo además en menor tiempo cuanto más aprisa es el esfuerzo realizado (tabla 2).

Tabla 2. Síntomas en personas a consecuencia de la disminución del oxígeno.

Proporción de O ₂ (% en volumen)	Síntomas
21- 18	Ninguna afectación del proceso de respiración
18-14	Aumento del volumen de respiración, elevación del pulso, afectación del juego de los músculos.
14-10	Marcada elevación del pulso, respiración acelerada, vómitos, desmayos, cianosis.
10-5	Conmoción con cianosis intensiva, ataques de pérdida del conocimiento hasta el coma, respiración rápida superficial que conduce a la convulsión, muerte rápida.

Medida del contenido:

Cuando se usan aparatos protectores de la respiración mediante oxígeno, la proporción de oxígeno, oscila, en general, entre 40 y 60% en volumen.

Para verificar que una atmósfera es irrespirable es preciso disponer de indicadores de respuesta inmediata.

La medida de oxígeno puede realizarse mediante los siguientes métodos: lámparas de llama, tubitos colorimétricos y equipos de lectura directa. Estos últimos se tratan de oxímetros utilizados con célula electroquímica, empleadas como sustitutos de las antiguas lámparas de llama.

Dióxido de carbono:

Es el producto final de la combustión completa de carbono, por tanto es incombustible.

Efectos fisiológicos de su presencia:

En incendios en minas, en general antes de la aparición de una concentración peligrosa de dióxido de carbono, la proporción de oxígeno del aire de la mina es tan baja y la del monóxido de carbono en el aire tan elevada, que se debe trabajar con un aparato protector de la respiración autónomo.

Así, cuando el contenido de CO₂ rebasa el 0,5%, la ventilación pulmonar aumenta, cuando alcanza el 5% la respiración llega a ser laboriosa, y cuando llega al 10% de concentración, aún existiendo un contenido de oxígeno suficiente, puede llegar a causar la muerte. Todo trabajo continuado está prohibido a una concentración mayor de 1,25% (tabla 3).

* El valor límite de exposición diaria (8 horas) de CO₂ es de 5000 ppm, mientras que el valor de exposición de corta duración es de 12500 ppm

La especial peligrosidad de la presencia de elevadas proporciones de dióxido de carbono, se da porque ese gas es más pesado que el aire y por ello se acumula en las partes profundas de las obras subterráneas, y en especial, de las minas (pozos abandonados, minados antiguos, base de planos inclinados y partes bajas de labores).

Tabla 3. Efectos de elevadas proporciones de dióxido de carbono sobre la respiración de las personas

Proporción de CO ₂ del aire de aspiración (% en volumen)	Síntomas
1	Aumento de la cantidad de aire aspirada sin quebranto de la salud.
2 - 4	Más del doble de la cantidad de aire de respiración, por ello rápida fatiga.
4 - 8	La respiración se triplica y se hace difícil, fuerte necesidad de respiración y fenómenos de agotamiento.
8 - 10	Pérdida del conocimiento y paralización de la respiración. Parálisis del centro de respiración, grave peligro de muerte. Con 20 a 25%, muerte en algunos segundos.

Medida del contenido:

La lámpara de llama usada tradicionalmente, puede permanecer encendida a concentraciones peligrosas de CO₂, y por ello se utilizan actualmente tubos de reactivos específicos de numerosos gases, que permiten no solamente medidas locales, sino también la medida de muestras deducidas a distancia por un flexible, que realizan la medida del gas entre las gamas de 0,2% y 0,5%.

Monóxido de carbono:

Se origina por la combustión incompleta de sustancias que contienen carbono. Como puede continuar la combustión hasta convertirse en CO₂, pertenece a los gases combustibles y como tal forma en la mezcla con el aire, mezclas explosivas dentro de los límites de explosión del 12,5 al 74% en volumen.

Efectos fisiológicos de su presencia:

Sus efectos dependen del contenido, de la duración de la exposición, de la actividad del individuo que lo respira y de la propia sensibilidad del mismo (figuras 4 y 5).

A concentraciones de 500 p.p.m. se manifiestan malestares y dificultades respiratorias en menos de una hora. Para 2000 p.p.m. el individuo sufre un riesgo mortal.

La presencia de CO₂ en el aire, aumenta la toxicidad de CO.

* El valor límite de exposición diaria del CO es de 50 ppm, mientras el valor de exposición en período corto es de 100 ppm.

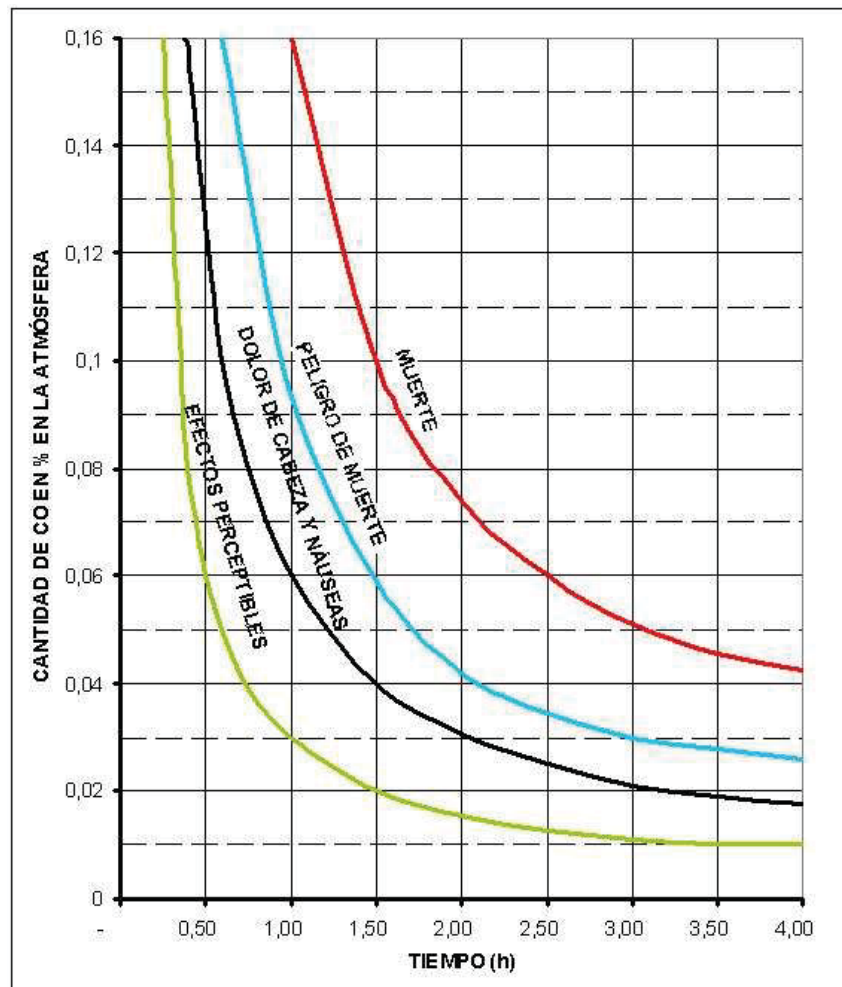


Figura 4. Efectos del CO en función del tiempo de permanencia

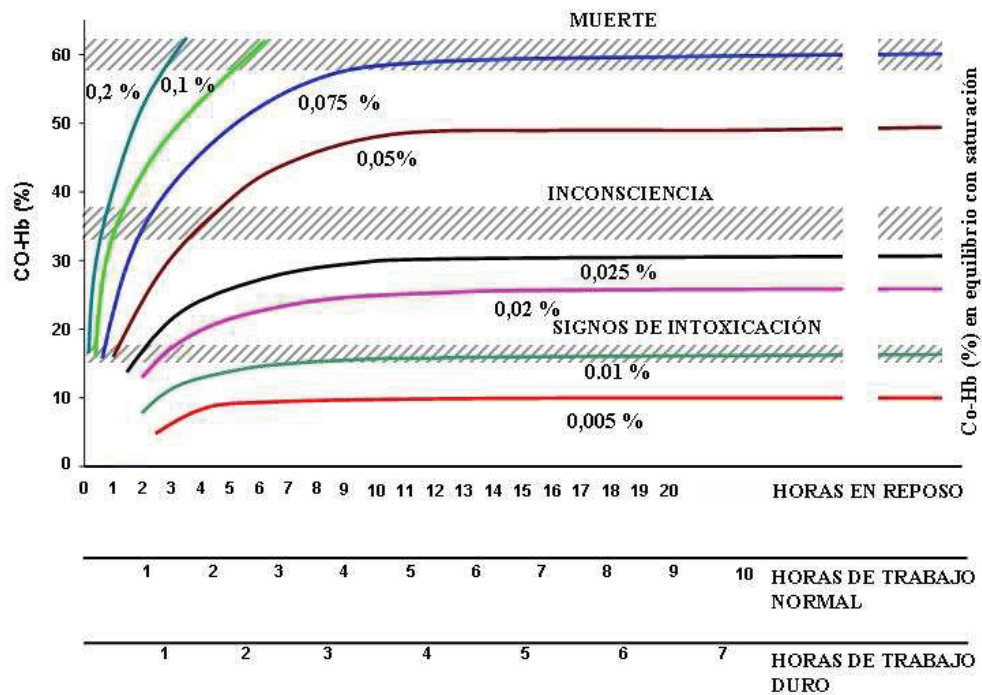


Figura 5. Efectos del CO sobre el organismo humano

Medida del contenido:

Los graduadores o medidores de tubo colorimétrico son sensibles a contenidos del orden de 10 p.p.m. para la detección y localización de muestras.

Existen también medidores portátiles de CO de célula electroquímica, menos costosos y menos frágiles.

Sulfuro de Hidrógeno:

A veces, se ha observado la presencia de sulfuros de hidrógeno en los gases de incendios. Esto ocurre en el caso de la combustión de azufre en minas de carbón que contienen piritas de hierro.

Efectos fisiológicos:

El efecto del gas sulfuro de hidrógeno se basa en su perjuicio a la respiración celular de las personas. En pequeñas concentraciones causan náuseas, dolor de cabeza, mareos, sopor, convulsiones, y en elevadas concentraciones se llega hasta la muerte por paralización de la respiración. Al mismo tiempo es un producto irritante de la córnea de los ojos y de todas las vías respiratorias (tabla 4).

Tabla 4. Efecto de diferentes concentraciones de sulfuro de hidrógeno sobre las personas

Proporción de H ₂ S del aire de inspiración en p.p.m	Síntomas
10-15	Posible inflamación de la conjuntiva y de la córnea por larga exposición.
50-100	Ligera inflamación de la conjuntiva e irritación de las vías respiratorias al cabo de una hora.
150	Náuseas, dolor de cabeza, fatiga.
200 - 300	Fuerte inflamación de la conjuntiva e irritación de las vías respiratorias al cabo de una hora.
500	Catarro, vómitos, cólicos, disnea, tos, sensación de opresión en la cabeza.
600	Muerte después de una media hora de efecto.
700-1000	Peligro agudo de envenenamiento, rápida pérdida del conocimiento, parálisis respiratoria y muerte.
1000	Rápida pérdida del conocimiento, apnea y muerte en pocos minutos.

Medida del contenido:

La detección de sulfuro de hidrógeno puede realizarse mediante el empleo de tubos colorimétricos. Además, puede utilizarse como indicador un papel impregnado en acetato de plomo, que ennegrece con las menores trazas de gas.

Actualmente, existen medidores de lectura directa.

El valor límite permitido en periodo de larga duración es de 10 ppm, mientras que el valor en corta duración es de 50 ppm.

(*) Valores límite extraídos de la ITC 04.7.02, del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

Productos tóxicos diversos

Las materias plásticas son, dentro de los materiales más comunes, las más susceptibles de desprender sustancias tóxicas cuando se descomponen bajo la acción del calor o cuando arden. Se encuentran en elementos como; bandas transportadoras, neumáticos o bandas de rueda, resinas utilizadas para la consolidación de terrenos, etc.

Otro de los compuestos que puede dar lugar a sustancias tóxicas cuando entran en combustión son los fluidos hidráulicos. Aparecen entonces en los humos de combustión iones como Cl^- , F^- , CN^- , NO^- , etc.

7.2 Quemaduras y golpes de calor

Las combustiones desprenden calor; al lado del fuego este calor es absorbido por la vaporización del agua, por el calentamiento de las paredes de la instalación y los

materiales que se encuentren en ella, y por la elevación de la temperatura de los humos, que provocan las quemaduras y los golpes de calor a los trabajadores.

La temperatura alcanzada por esos humos depende tanto de la naturaleza del combustible como de las condiciones de la combustión, y disminuye al alejarse de los focos. Este enfriamiento de humos se conoce como progresión o evolución de los mismos, que se calcula mediante varios métodos integrando en ellos el factor de la ventilación.

- Medida de la temperatura del aire:

Para medir la evolución de la temperatura entre 323 y 473 K, es preciso colocar sensores antes de que el retorno del aire se haga inaccesible. Los aparatos utilizados como captadores de la temperatura son el termopar, una resistencia de platino (Pt 100) y, para temperaturas limitadas a 423 K, un elemento semiconductor.

Quemaduras

La causa de las quemaduras puede ser una explosión de la cual el personal no ha podido escapar de las llamas, o el contacto con los humos a gran temperatura, que si alcanzan el retorno de aire puede ser peligroso.

Las quemaduras cutáneas se clasifican como de primer, segundo o de tercer grado. Las quemaduras de primer grado sólo afectan a la piel y se caracterizan por un enrojecimiento anormal y, a veces, pequeñas acumulaciones de líquido bajo las mismas. Las de segundo grado penetran en la piel a mayor profundidad. La zona quemada aparece húmeda y quemada, surgen ampollas y a menudo se produce una considerable acumulación de fluido subcutáneo. Las de tercer grado son casi siempre secas, carbonizadas y de color blanco nacarado con zonas chamuscadas, y no dolorosas porque las terminaciones nerviosas quedan desactivadas.

Los equipos de salvamento han de disponer de ropa ignífuga, aunque también servirían la ropa antillama, pudiendo resistir temperaturas de hasta 1473 K. La ropa de tejidos sintéticos de alta conductividad térmica y muy inflamable, como el nylon, son susceptibles de agravar considerablemente las quemaduras.

Golpes de calor

La energía liberada durante la combustión se emite en forma de calor, y éste el principal responsable de la propagación del fuego. El calor representa un peligro físico para las personas. Si la energía calorífica total que incide sobre el cuerpo supera la capacidad de defensa del mismo, provoca desde lesiones leves hasta la muerte. Cuando existe un aumento de temperatura entran en acción las funciones reguladoras del organismo, pero cuando éstas son desbordadas, el individuo sufre un golpe de calor. La deshidratación, causa de la sudoración continuada sin aporte líquido, dolores de cabeza y vértigos, son los principales efectos del calor excesivo.

Las consecuencias de la exposición al aire caliente se ven amplificadas si la atmósfera del fuego contiene humedad. Cuanto mayor sea el contenido en humedad en la atmósfera, mejor eficiencia habrá en la transferencia de calor y el cuerpo perderá facultades para liberarse de la carga calorífica. Si un exceso de agua alcanza rápidamente los pulmones, puede producirse una drástica caída de la presión sanguínea junto con el colapso de los vasos sanguíneos, lo que lleva a un fallo circulatorio.

7.3 Explosión

Una explosión es un cambio físico o químico repentino del estado de una masa, acompañado de energía y movimiento. En general, se dice que ha ocurrido una explosión en la atmósfera si la energía se libera en un tiempo lo suficientemente corto y en un volumen lo suficientemente pequeño, capaz de generar una onda de presión

de amplitud finita, que se desplaza y que normalmente es audible. Una consecuencia común de una explosión es el fuego.

Cuando la propagación de una explosión tiene lugar isobáricamente y a velocidad próxima a la del sonido, el proceso se denomina *deflagración*.

Después de un periodo de inducción, una deflagración puede llegar a convertirse en una *detonación*, que se propaga a una velocidad muy superior a la del sonido y sin mantenerse constante la presión. El paso de una a otra tiene lugar mediante un mecanismo de ignición, y puede ocurrir por reacciones en cadena; cuando las reacciones de iniciación de radicales libres, la propagación, y la transferencia son más abundantes que las reacciones de combinación y cierre de cadenas.

También puede producirse el paso de una a otra por ignición térmica, cuando el calor generado por la reacción supera al calor eliminado hacia las paredes y se produce el desequilibrio del balance térmico.

Existe explosión de una mezcla gaseosa si hay propagación de la inflamación en la totalidad de la mezcla. Esta propagación puede ser más o menos violenta según su composición, el volumen que ocupa, la causa de la inflamación, la temperatura y la turbulencia de la atmósfera.

Caso típico de explosión en obras subterráneas y, en particular, en minas, sería la explosión de polvo de carbón, la cual puede considerarse como una combustión rápida incontrolada que se propaga a sí misma, con generación de calor y gases a altas temperaturas y presiones.

Además, en las minas de carbón existe grisú, que es una mezcla de metano y aire, que a determinadas concentraciones causa la explosión.

Riesgos provocados por la explosión:

El riesgo más importante en una explosión es, tanto para las personas como para las estructuras, la onda de choque.

Cuando una onda de choque alcanza una estructura se produce reflexión de la misma, con una sobrepresión al menos el doble de la onda incipiente.

En cuanto a los daños a personas, pueden ser debidos a efectos directos de la onda explosiva (primarios) o a efectos indirectos (secundarios). Los primarios se refieren a la onda de choque directa o al derribo de elementos estructurales como techos o paredes de la instalación.

Los secundarios son debidos al impacto de fragmentos procedentes del contenedor del foco explosivo o del edificio en que se encontraba.

Podría existir además un riesgo terciario, debido a fragmentos procedentes del descostramiento de las paredes o techos, de la rotura de cristales, o por el desplazamiento seguido de paredes de impacto sobre una estructura fija.

La tolerancia del cuerpo humano a la onda de choque es relativamente alta. Los efectos graves por esta causa se restringen a las proximidades de la explosión, ya que la intensidad de la onda de choque decrece rápidamente con la distancia, por lo que el derribo de los elementos es generalmente una causa de daños más importante que la propia onda de choque (ver tablas 5 y 6).

Tabla 5. Efectos de la onda de choque en el ser humano

Órgano y daño	Presión máxima efectiva (bar)*
Ruptura de tímpano:	
Umbral	0,35
50 por ciento	1,05
Daño pulmonar:	
Umbral	2,1- 2,8
50 por ciento	>5,6
Muerte:	
Umbral	7-8,4
50 por ciento	9,1-12,6
Casi el 100 por cien	14-17,5

(*) La presión máxima efectiva es la mayor de: sobrepresión incidente, sobrepresión incidente más presión dinámica o presión reflejada.

Tabla 6. Umbral de daños graves a personas debidos a impacto de fragmentos

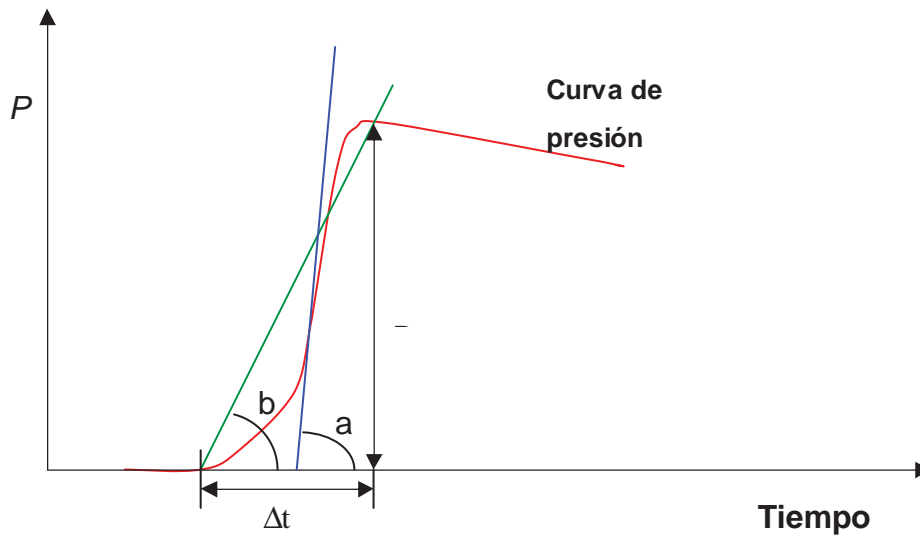
Órgano	Peso (kg)	Velocidad de fragmentos (m/s)	Energía (J)
Tórax	>1,1	3	5,4
	0,045	25	14
	0,00045	120	3,4
Abdomen y miembros	>2,7	3	12
	0,045	23	12
	0,00045	170	6,8
Cabeza	>3,6	3	16
	0,045	30	22
	0,00045	140	4,1

La muerte por onda de choque sobreviene por la rotura de los alvéolos pulmonares sometidos a sobrepresión, con la consiguiente irrupción de aire en el sistema vascular. Otro riesgo menos grave causado también por la sobrepresión es la pérdida de audición temporal, aunque también puede llegar a producirse una rotura de tímpanos.

Medida de la explosión:

Durante el proceso de una explosión puede medirse y registrarse la presión que se va alcanzando en el recinto por donde aquella tiene lugar. La presión aumenta sólo moderadamente en los instantes iniciales, para pasar enseguida a valores muy altos. Se llama presión máxima de explosión a la presión más alta alcanzada durante el proceso. Puede medirse también la velocidad de variación de la presión, la velocidad promedio, y sobre todo, la velocidad máxima de aumento de presión (gradiente máximo de presión) que indican el efecto destructivo de una explosión .

En la figura 6 puede verse la forma típica de una onda de presión, sobre la que se define la presión máxima de explosión, la velocidad máxima de aumento de presión y la velocidad media de aumento de presión.



P_{\max} = Presión máxima de explosión

$\left| \frac{dP}{dt} \right|_{\max} = \text{tg}(a) = \text{Velocidad máxima de aumento de presión}$

$\frac{P_{\max}}{t} = \text{tg}(b) = \text{Velocidad media de aumento de presión}$

Figura 6. Curva de presión de una explosión.

Modificación del régimen de ventilación

Un fuego, y sobretodo un incendio, es un fenómeno intempestivo que puede provocar una modificación importante en el régimen de ventilación, a la que la dirección de la obra subterránea debe responder en cuestión de minutos.

Es esencial mantener unos niveles de temperatura, humedad y velocidad del aire en el lugar de trabajo, de forma que los trabajadores no sufran ninguna alteración de su salud ni se produzca un fuego. Por tanto, es de gran importancia la implantación y el correcto mantenimiento de la ventilación en una obra subterránea (figura 7 y 8).



Figura 7. Ventilador principal de una mina



Figura 8. Torres de ventilación de una mina

Para prevenir el riesgo de modificación del régimen de ventilación debido a un fuego es necesaria la simulación previa de situaciones que pueden generar el mismo. Así, se procederá al estudio de; la *fuerza aerotromotriz* generada por un fuego, para lo que es fundamental conocer la temperatura previsible del aire en el foco del fuego y su

evolución posterior, las previsiones de inversión de la ventilación en labor con ventilación ascendente y con ventilación descendente, y la *barrera fundamental de Budryk*.

Cálculo de la fuerza aerotromotriz

El efecto de un incendio de mina abierto sobre la corriente de aire es doble:

Por un lado, un efecto de *empuje*, debido al aumento de volumen del aire y consiguiente disminución de densidad.

Por otro, un efecto de *estrangulación*, debido a la mayor pérdida de carga que experimenta este volumen expandido de aire por el “orificio” en el que circula.

Si el incendio se produce en una labor con ventilación ascendente, la fuerza aeromotriz o empuje del incendio se suma a la del ventilador principal. El valor del empuje depende de la columna vertical de aire existente por encima del foco de calor.

Por el contrario, si el incendio se produce en una labor con ventilación descendente, la fuerza “contraeromotriz” del incendio se opone a la del ventilador principal. Se le denomina así también tiro “opuesto”.

El valor del tiro opuesto depende de la altura eficaz por debajo del incendio, entendiéndose como tal aquella en la que los gases descienden aún calientes. Si llega a producirse la inversión de la corriente descendente, el *empuje* depende de la altura eficaz existente por encima del incendio.

Puede verse en las siguientes figuras (figuras 9 y 10);

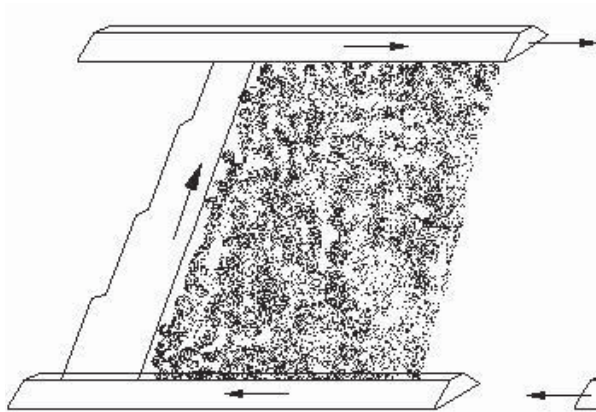


Figura 9. Ventilación ascendente

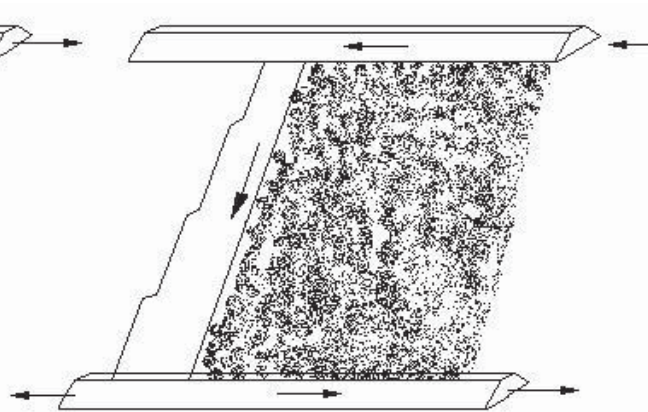


Figura 10. Ventilación descendente

Punto	EFEECTO
1	El <i>empuje</i> es tanto mayor cuando el punto 1 se acerca al 2, pues los gases llegan más calientes a la columna vertical.
2	El <i>empuje</i> es máximo.
3	Al desplazarse el incendio al punto 3, el <i>empuje</i> disminuye al disminuir la columna vertical.
4	Teóricamente, el <i>empuje</i> es cero (sigue produciéndose el efecto de estrangulación que reduce el caudal de aire)
5	Se produce el efecto de estrangulación, que reduce el caudal de aire. A medida que 5 se acerca a 6 llegan gases calientes a este punto y se genera "tiro opuesto".
6	El "tiro opuesto" es máximo y puede producirse parada del aire, pero es improbable la inversión sostenida, por fallo del columna por encima de este punto, es decir por <i>empuje</i> . A esta parada se le llama "remanso".
7	El "tiro opuesto" suele ser el mismo que en el punto 6, pero en este caso se genera <i>empuje</i> , pudiendo producirse una inversión sostenida.
8	Se produce el efecto de <i>estrangulación</i> , siendo las consecuencias similares a las del punto 5.

En cuanto a la evolución de las temperaturas del aire a partir del foco del incendio, puede hacerse la siguiente estimación basada en numerosos ensayos realizados por el Bergbau.Forschug (figura 11):

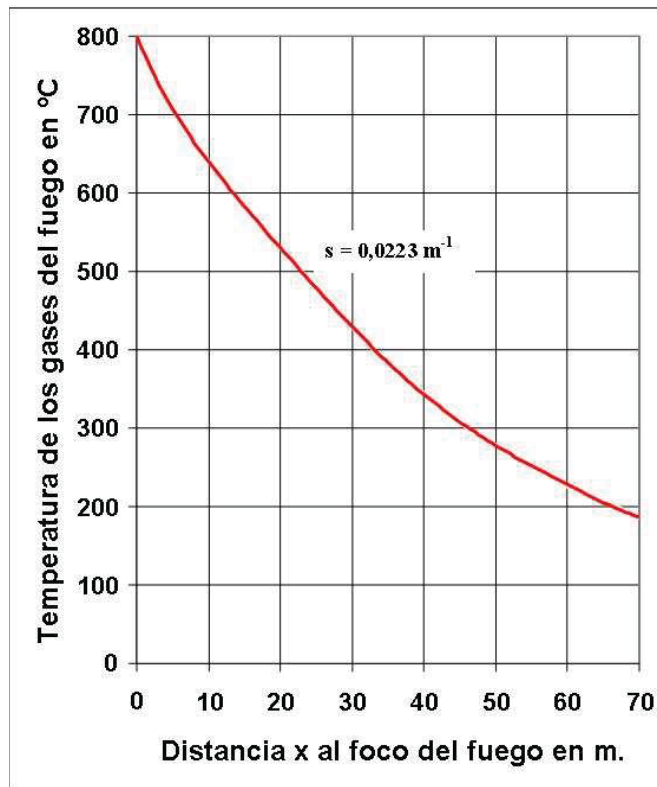


Figura 11. Curva de enfriamiento de W.Schmidt, para circulación de aire ascendente

Se representa por la siguiente ecuación matemática:

$$t_x = t_R + \frac{t_F \times t_R}{e^{Sx}} \text{ o bien } \Delta t_x = \Delta t_F \times e^{-S.x}$$

donde:

x = distancias al foco del fuego, en metros

t_x = temperatura de los gases del fuego a una distancia x del mismo, en °C

t_R = temperatura de las rocas, en °C (aprox. igual a la temperatura del aire ambiente antes del fuego)

S = coeficiente determinado empíricamente, en m⁻¹

e = base de los logaritmos naturales

El autor francés Etienne Simode determina S en función de la velocidad del aire, proponiendo la expresión:

$$t_m = \int_{x=0}^x \Delta t_F \times e^{\frac{-0,0175}{V^{0,64}} \cdot x}$$

que se representa en el gráfico siguiente (figura 12):

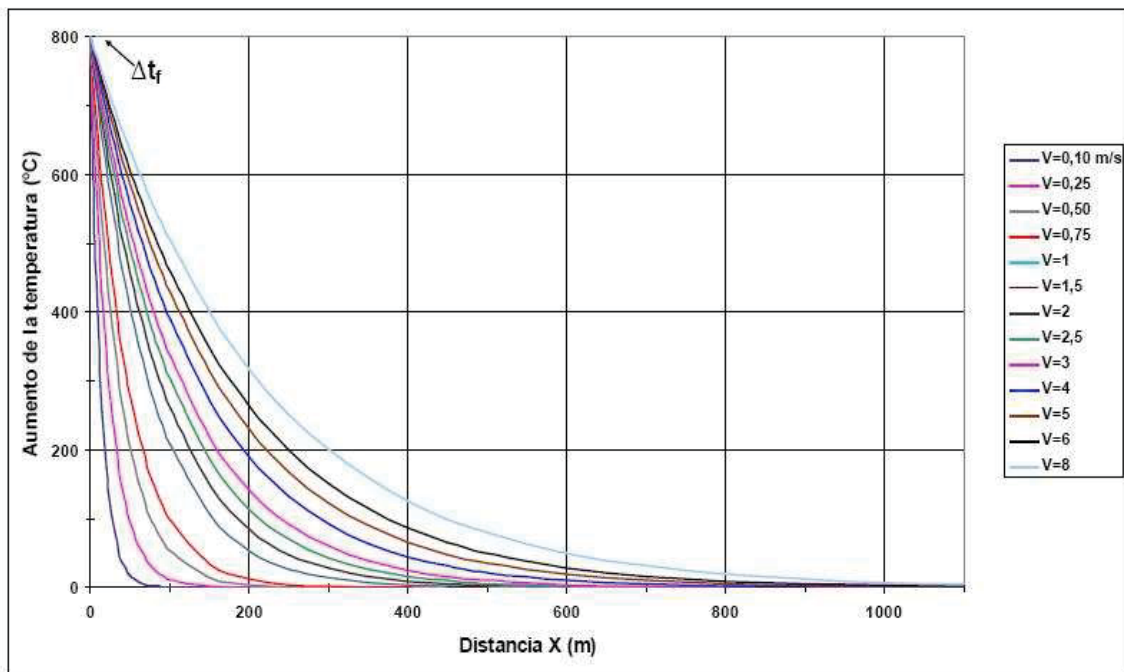


Figura 12. Aumento de la temperatura de los humos

A partir de ella, se puede determinar el aumento medio de la temperatura de los humos entre el fuego y el punto de abscisa x, que viene dado por la expresión:

$$t_x = \int_{x=0}^x \Delta t_F \times e^{\frac{-0,0175}{V^{0,64}} \cdot x} dx = \frac{-\Delta t_F \cdot V^{0,64}}{0,0175} \left[e^{\frac{-0,0175}{V^{0,64}} \cdot x} - 1 \right]$$

y para el valor $\Delta t_F = 800^\circ \text{C}$

$$\Delta t_M = 45.700 \times V^{0,64} \left[1 - e^{\frac{-0,0175}{V^{0,64}} \cdot x} \right]$$

que se representa gráficamente en la figura siguiente (figura 13):

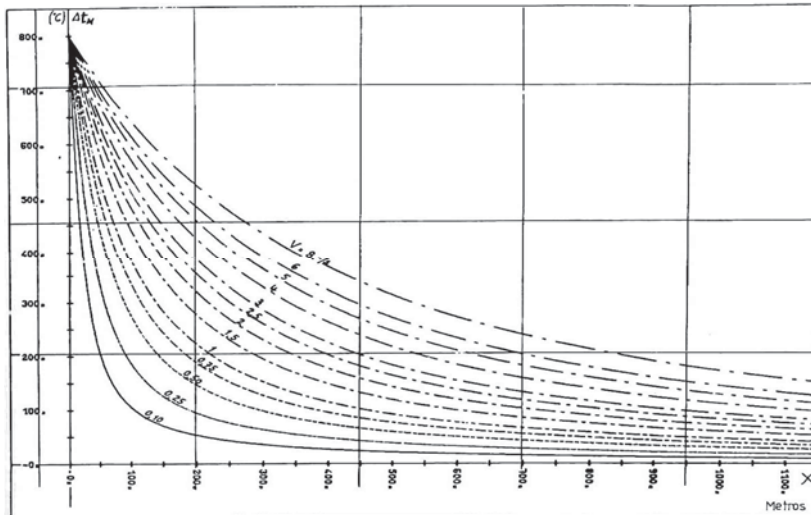


Figura 13. Aumento medio de la temperatura de los humos

Estas curvas son muy útiles para efectuar el cálculo automático del efecto aeromotriz del fuego en el ordenador (ver figuras 14 y 15).

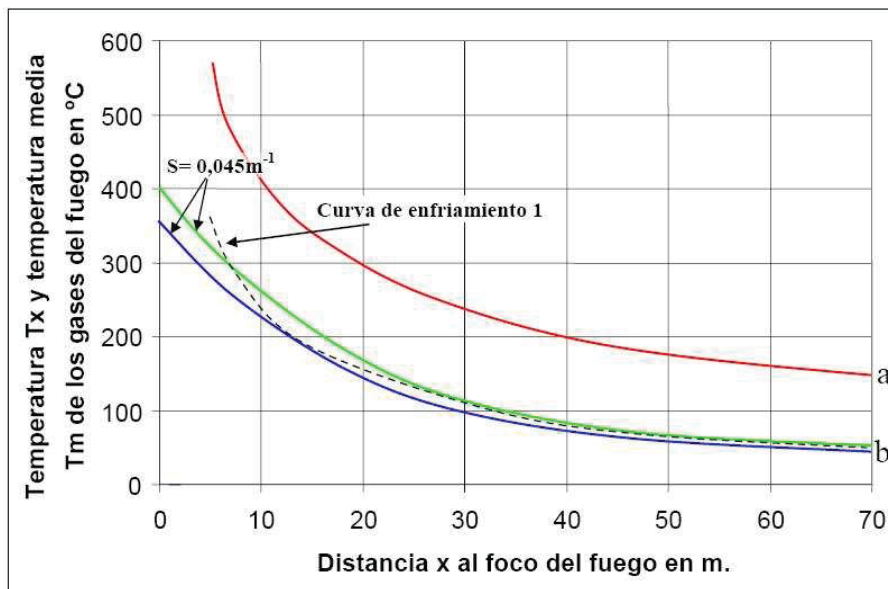


Figura 14. Curva de enfriamiento 1, para circulación de aire descendente

Curva a: Temperatura media de los gases del fuego, extraída de la curva de enfriamiento tipo 1.

Curva b: Curva de enfriamiento tipo 1.

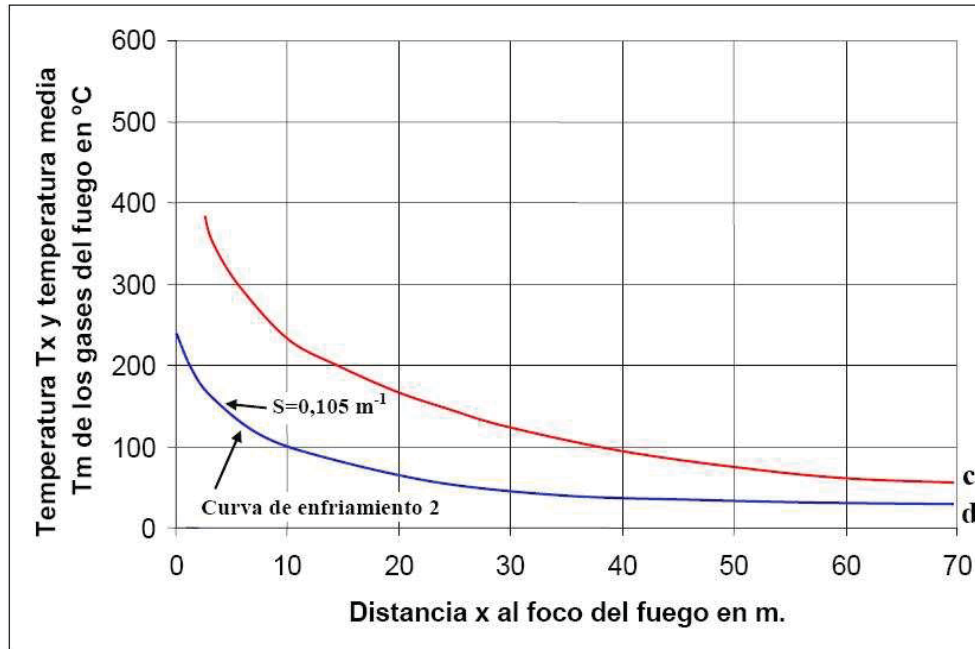


Figura 15. Curva de enfriamiento 2, para parada de la ventilación para circulación de aire descendente

Curva c: Temperatura media de los gases del fuego, extraída de la curva de tipo 2.

Curva d: Curva de enfriamiento, tipo 2.

Observación respecto a las *curvas de enfriamiento*:

Estas curvas de enfriamiento han sido obtenidas en ensayos reales en la Mina experimental Tremonia (en total se realizaron 130 ensayos). Se definen como la envolvente de las temperaturas más elevadas medidas, a diferentes distancias del incendio, en los sucesivos ensayos. En todo caso, puede apreciarse la dificultad de estas mediciones y la dispersión de las medidas realizadas. Después de producirse el

accidente de Meerlebach, el 18 de marzo de 1980, los técnicos de Cerchar han iniciado la revisión de estas curvas, desconociendo de momento el resultado.

El cálculo de la Fuerza-aeromotriz, se realiza por la expresión:

$$\Delta p = \Delta H \times \Delta \gamma (kp / m^2)$$

donde ΔH es la diferencia de altura "activa", diferente según el sentido de la ventilación

- Con ventilación ascendente, es la diferencia de altura recorrida por los gases calientes.
- Con ventilación descendente, es la diferencia entre el fuego y el punto más bajo alcanzado por los gases calientes.

$\Delta \gamma$ es la diferencia de densidades medias entre los gases calientes y el aire de la mina.

Se considera; $\gamma = \frac{13,6B}{R_f T}$

B = Presión barométrica, en mmHg

R_f = Constante del gas

T = Temperatura absoluta

$$\Delta \gamma = 13,6 \left(\frac{B_1}{R_{f_1} T} - \frac{B_2}{R_{f_2} T_2} \right) \text{ y aproximadamente}$$

$$\Delta \gamma = 13,6 \frac{B}{R_f} \times \frac{\Delta t}{T_1 T_2}$$

$$\text{Sabido que; } \Delta p = \frac{\Delta H \times \Delta t}{100} \times a$$

y siendo;

$$a = \frac{13,6B.100}{R_f \cdot T_1 \cdot T_2}$$

En caso de ventilación ascendente, la aplicación de esta fórmula es sencilla, puesto que es fácil conocer ΔH , y ΔT se obtiene a partir de la curva de W.Schmidt. El valor de a depende sobre todo de T_2 y suele oscilar entre $a= 0,26$ y $a= 0,29$.

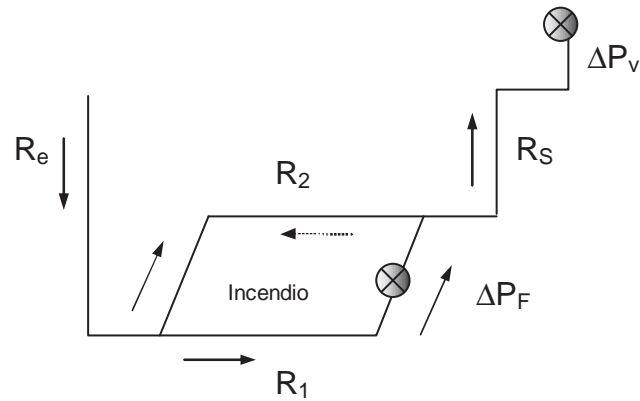
Sin embargo, en el caso de la ventilación descendente, la determinación de T_2 es difícil. Existe indeterminación sobre la elección de la curva de enfriamiento 1 o la curva de enfriamiento 2, la cual debe reducirse a lo siguiente:

- Adoptar la curva de enfriamiento 1 si la reducción de caudal originada por el incendio es inferior al 50% del caudal original.
- Adoptar la curva de enfriamiento 2 si la reducción del caudal es superior al 50%.

En este caso, el valor de a suele estar comprendido 0,36 y 0,37.

Previsión de inversión de la ventilación en casos sencillos

ESQUEMA CON VENTILACIÓN ASCENDENTE:



$$R_0 = R_e + R_s$$

$$\frac{\Delta P_F}{\Delta P_v} < \frac{R_1}{R_0}, \text{ no se produce inversión en } R_2$$

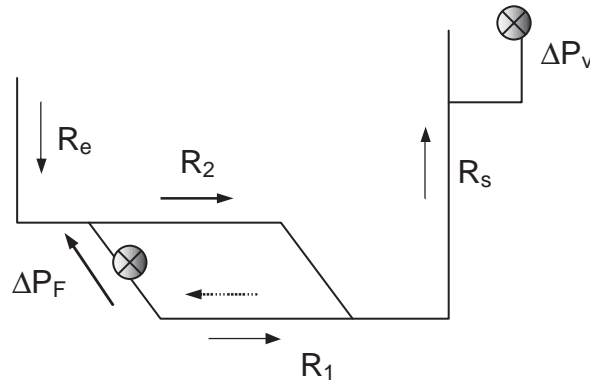
$$\frac{\Delta P_F}{\Delta P_v} = \frac{R_1}{R_0}, \text{ se produce parada de aire en } R_2$$

$$\frac{\Delta P_F}{\Delta P_v} > \frac{R_1}{R_0}, \text{ se produce inversión en } R_2$$

Para “estabilizar” la ventilación (evitar la inversión en R_2), es conveniente:

- Aumentar R_1 , lo cual se consigue colocando un “freno fundamental”. El valor de este freno, en las minas con grisú, suele ser tal que por la labor incendiada circule el mismo caudal de aire que antes de producirse el incendio, al objeto de evitar un aumento en el contenido de metano.
- Aumentar ΔP_v , es decir, forzar el ventilador.

ESQUEMA CON VENTILACIÓN DESCENDENTE:



$\frac{\Delta P_F}{\Delta P_v} < \frac{R_2}{R_2 + R_0}$, se conserva la dirección primitiva del aire

$\frac{\Delta P_F}{\Delta P_v} = \frac{R_2}{R_2 + R_0}$, se produce la parada del aire en R_1

$\frac{\Delta P_F}{\Delta P_v} > \frac{R_2}{R_2 + R_0}$, se produce la inversión del aire en R_1

Para estabilizar la ventilación (evitar la inversión en R_1), es conveniente:

Aumentar R_2 , lo cual se consigue colocando un freno en esta labor

Aumentar ΔP_v , es decir, forzar el ventilador

No obstante, conviene recordar que en muchos de los casos de los que se presenta esta situación, lo que conviene provocar es precisamente la “inversión” (caso de incendio en un plano de entrada), o en otro caso, mantener el sentido del aire pero con fuerte reducción del caudal (caso de un taller de arranque).

Barrera fundamental de Budryk

El profesor Budryk ha elaborado una importante teoría relativa a la estabilización de la ventilación en caso de incendio en las labores subterráneas.

El objetivo de esta teoría es determinar las medidas a adoptar, de manera cualitativa y en menor plazo de tiempo, en caso de ausencia de datos numéricos precisos o incluso por falta de tiempo para utilizarlos:

Por una parte, para disminuir al máximo la carga aeromotriz anormal del fuego.

Por otra parte, para suprimir o limitar los riesgos de inversión.

Las acciones concretas que resultan de la aplicación de esta teoría, van a ser la colocación de resistencias adicionales de estabilización, tales como puertas o tabiques, y la actuación de ventiladores.

Estas resistencias adicionales o frenos de ventilación es lo que se denomina Barrera Fundamental de Budryk. Es, en definitiva, un medio muy simple de mantener los caudales en sus valores iniciales poniendo en la rama cálida un freno de aire y creando, de esta forma, una pérdida de carga suplementaria.

8 TIPOS DE FUENTES DE IGNICIÓN

8.1 Fuentes de energía y focos de ignición causantes de incendios

Pueden existir distintas fuentes de energía que originen calor necesario para provocar un fuego. Estas son:

Energía calorífica química: a consecuencia de una reacción química. Puede generarse calor por combustión, calor de descomposición, calentamiento espontáneo y calor por disolución.

Energía calorífica de origen eléctrico: originada por; resistencia, calentamiento dieléctrico, calentamiento por inducción, calentamiento originado por corrientes de fuga, calor debido al arco eléctrico o por el calor debido a la electricidad estática.

Energía calorífica de origen mecánico: es la originada por fricción. Pueden originarse chispas, calor debido a la fricción y por la compresión.

Los focos de ignición necesarios para que se produzca un fuego son:

Focos térmicos

- Acción de fumar o emplear útiles de ignición (mecheros, fósforos)
- Instalaciones generadoras de calor (hornos, calderas, etc.)
- Rayos solares
- Soldadura y/o oxicorte
- Vehículos y máquinas a motor

Focos eléctricos

- Chispas
- Cortocircuitos
- Sobrecargas
- Cargas estáticas
- Descargas eléctricas atmosféricas

Focos mecánicos

- Chispas de herramientas
- Roces mecánicos
- Chispas zapato-suelo

Focos químicos

- Reacciones exotérmicas
- Sustancias reactivas
- Sustancias anti-oxidables

8.2 Singularidades de estado

De los tres estados de la materia, la fase gaseosa es la que mayor aptitud presenta para la inflamación.

Cuando se ha provocado en un punto del combustible sólido un aumento de temperatura, y existe la suficiente afinidad con el oxígeno para desarrollarse, el

combustible se inflama y sobreviene la llama. Esto ocurre durante la fase gaseosa o al final de la misma. En el caso de los líquidos, ocurre después de vaporizarse.

Esta es la explicación del porqué las sustancias combustibles gaseosas, o en estado de vapor, son tan inflamables. El estado gaseoso presenta una disposición especial para la inflamación, ya que el nivel de propagación de llama y calor es muy grande, especialmente cuando los gases están delimitados o comprimidos.

Así, los sólidos y los líquidos deben desprender vapores o gases antes de inflamarse o arder. En ambos estados, el riesgo será tanto mayor cuando la inflamación se realice a temperaturas cercanas a las normales. A mayor intensidad de calor que se precise, menor será también el riesgo de ignición.

8.2.1 Gases inflamables

Las mezclas híbridas de gas y polvo de carbón son más inflamables que el metano sólo, y por tanto, el límite inferior de inflamabilidad es menor que el del metano. Estas mezclas híbridas son más propensas a aparecer (y consecuentemente a inflamarse) en la cabeza de corte.

8.2.2 Sólidos inflamables

Entre los sólidos y los líquidos, son los primeros los que presentan características peculiares para la inflamabilidad. Los sólidos inflamables se presentan de varias formas:

- Combustión espontánea actividad microbiana
- Combustión espontánea por bajas temperaturas, materiales de bajo punto de ignición: fósforo, azufre
- Polvo en suspensión

8.2.3 Incendios endógenos o causados por autoinflamación del carbón

En las minas de carbón existe un riesgo de autocombustión originado en el carbón que se está explotando o en el material carbonoso que contenga la estructura de la obra (ver Anexo B).

Los fuegos de una explotación subterránea no sólo dificultan el ritmo de trabajo normal, traduciéndose luego en una disminución de la producción para el caso de una mina, sino que también suponen una amenaza para las estructuras, tanto exteriores como interiores, causando además problemas de contaminación.

Los humos causados por la combustión indeseada del carbón implican un grave riesgo tanto para la salud como para la producción de fuegos (figura 16).

Pueden llegar a ser lo bastante espesos como para impedir las labores normales incluso en galerías alejadas. Si se incrementa la ventilación para dispersar el humo se corre el riesgo de activar aún más el fuego.



Figura 16. Humo en galería

Por otro lado, los humos contienen una serie de gases tóxicos, como el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y, a veces, dióxido de azufre, causando diversas afecciones en el organismo según su concentración.

Además, uno de los mayores peligro que puede entrañar un fuego de mina es el riesgo de explosión si el fuego entra en contacto con una atmósfera que contenga una concentración adecuada de metano, o una suficiente concentración de polvo de carbón.

9 FUEGOS E INCENDIOS EN MINAS Y OBRAS SUBTERRÁNEAS

9.1 Minas y obras subterráneas

9.1.1 Materiales combustibles

Madera

Es un material importante ya que arde fácilmente produciendo CO₂ y CO, facilitando el desarrollo y extensión de un incendio. Aunque este material está siendo sustituido por otros materiales con el tiempo, puede encontrarse en: el sostenimiento de galerías, revestimientos, equipamientos de pozos, puertas de ventilación (figura 17). Sin embargo, aún se encuentran en:

- el enmaderado de talleres de preparación;
- el revestimiento del tajo encima de los elementos de sostenimiento metálico;
- el tratamiento de las campanas de desprendimiento;

- los cuadros de madera de protección de galerías de tajo o sostenimiento de zona de accidentes.



Figura 17. Apilamiento de madera en una mina

Otros materiales

- Tubos flexibles para circuitos hidráulicos, mangueras de ventilación, cortinas
- Neumáticos y cubiertas de ruedas en tanto están en las máquinas diesel como en almacén.
- Los materiales que forman las reservas de estanquificación y consolidación de terrenos permiten obtener resultados importantes, pero en su elección debe tenerse en cuenta su comportamiento al fuego.
- El polvo de sulfuros puede ser el combustible que provoque una ignición.

Máquinas móviles

- *Bandas transportadoras:*

Han sido las responsables de numerosos incendios subterráneos a lo largo del tiempo. Estos, han sido minimizados gracias a las bandas ordinarias de pliegues textiles que

subsisten, a los pruebas de homologación que garantizan la no transmisión de la inflamación y a los ensayos de control de calidad.

El desarrollo de las grandes cintas transportadoras de funcionamiento automático sin vigilancia ha sido responsable del nacimiento y propagación de un gran número de incendios subterráneos.

Los humos de combustión de bandas difícilmente inflamables, con revestimiento de cloropreno o en PVC contiene ácido clorhídrico y compuestos orgánicos halógenos muy peligrosos

- *Material eléctrico*

Las cubiertas exteriores de los cables en neopreno no propagan la inflamación, pero desprenden cloro humeante (figura 18).



Figura 18. Almacenamiento de cables y aceite

Combustibles líquidos

En las obras subterráneas existe gran variedad de motores Diesel en uso, y por tanto hay un fuerte consumo de este *carburante*. Sin embargo, esta sustancia no se inflama

en el interior de recipientes, sino solamente si escapa de ellos y alcanza una temperatura mayor a la temperatura de inflamación. El combustible se encuentra tanto en las máquinas como en los puntos de almacenamiento y abastecimiento.

A pesar del desarrollo de los motores Diesel, los incendios imputables al fuel son raros gracias a la eficacia de las soluciones tomadas teniendo en cuenta; los riesgos de explosión en la concepción de los motores, los riesgos en el transporte, almacenamiento y distribución de combustible y la disposiciones tomadas para disminuir rápidamente un comienzo de incendio.

Los *fluidos hidráulicos o aceites minerales*, han sido reemplazados con el tiempo por fluidos no inflamables, los cuales no sólo han pasado una serie de pruebas de inflamabilidad, sino que también han sido estudiadas sus propiedades físicas y químicas requeridas para su utilización y las consecuencias de su uso para la salud humana. Los aceites minerales todavía representan el 30% de los fluidos hidráulicos utilizados hasta ahora, aunque podría disminuir limitando su uso a circuitos cortos con poco riesgo de pérdidas de fluido.

Los *lubricantes* como aceites y grasas se consumen en mayor medida que los fluidos hidráulicos.

Gases inflamables

- *Butano (C_4H_{10}):*

El butano puede ser liberado por los estratos. Forma atmósferas explosivas con el aire entre las concentraciones de 1,9 % y 8,5%.

- *Hidrógeno (H_2):*

Es un gas poco común, pero es el gas más peligroso debido a la baja energía necesaria para iniciar la ignición. En las atmósferas de mina subterránea se puede encontrar durante o después de la descomposición térmica del carbón, madera, goma y otros gases inflamables. En algunos casos el hidrógeno puede ser liberado por los estratos y diques. Otra fuente hidrógeno es la recarga de baterías eléctricas. El intervalo explosivo se encuentra entre el 4 % y el 75,6 %.

- *Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) :*

Este gas se produce debido a la descomposición de sustancia orgánica que contengan sulfuro cuando se queman las zonas de relleno con desechos, durante voladuras y por medio de la reacción de agua ácida con sulfuros de hierro o piritas cuprosas. El agua estancada es otra fuente de sulfuro de hidrógeno. El gas también se puede encontrar después de una explosión de polvo de carbón. El intervalo explosivo se encuentra entre el 43% y el 45 %.

- *Monóxido de carbono:*

Se forma durante la combustión incompleta de cualquier material carbonoso. También se puede encontrar este gas en caso de haber fuego, autoignición de carbón, voladuras o explosión de gas. También se encuentra en los gases de escape de la maquinaria diesel.

(Ver Anexo A)

9.1.2 Fuentes de ignición

Maquinaria móvil

Constituyen un riesgo de fuego debido a su acción mecánica y a su suministro de energía.

Los fuegos pueden ser causados por frenos agarrotados o por el sobrecalentamiento de la máquina, y pueden desarrollarse debido a la acumulación de grasas y aceites vertidos.

Motores de explosión

Los motores de explosión por medio de puntos con temperaturas excesivas o por los gases de escape puede ser fuente suficiente para iniciar un incendio

- Cintas transportadoras

La causa de un fuego en la banda transportadora es el propio rozamiento de la misma sobre la estructura o carcasa, o bien por un atascamiento de la banda y, por tanto, un rozamiento del tambor sobre la misma.

- Equipos eléctricos

Los fuegos en equipos eléctricos pueden ser causados fundamentalmente por la ignición de gases o polvos inflamables (como el metano o el polvo de carbón en minas de carbón) o por la ignición de material inflamable, como carbón o material eléctrico, debido a calentamientos por sobrecargas o por cortocircuitos.

Ignición del material inflamable

La corriente eléctrica inducida que proporciona potencia al equipo eléctrico causa un aumento de temperatura de todos los elementos que constituyen dicho equipo. El valor límite de un equipo eléctrico depende de la temperatura máxima, que puede ser contrarrestada sin peligro, y el equilibrio entre el calor causado por el flujo de la corriente eléctrica y el grado de enfriamiento del equipo de esa temperatura. Este último punto es importante ya que un sobrecalentamiento del equipo eléctrico puede deberse a un enfriamiento insuficiente o bien una sobrecarga. Los dispositivos normales de sobrecarga eléctrica son incapaces de detectar un enfriamiento pobre.

De esta manera, un equipo eléctrico puede sobrecalentarse por:

- Sobrecarga
- Enfriamiento inadecuado

Existen dos formas de sobrecarga. La más frecuente ocurre cuando una máquina o dispositivo opera a una carga excesivamente mayor para la cual ha sido diseñada. Este tipo de sobrecarga se refiere a la *causada por el hombre*.

Una forma particularmente severa de sobrecarga tiene lugar cuando ocurre un fallo entre dos o más fases. A este tipo de fallo se le conoce como *fallo de fase o corto circuito*. En este caso, el flujo de la corriente eléctrica puede ser 10.000 veces mayor que la corriente eléctrica máxima diseñada para el sistema. Este aumento de corriente provoca en el equipo un calentamiento rápido, y, además, causa una descarga energética en el lugar del fallo, que es equivalente a la carga superficial explosiva.

Un sobrecalentamiento puede causar una ignición inmediata de material como el carbón o polvo de carbón si el aumento del calor es suficientemente alto. Un efecto menos obvio del sobrecalentamiento es el deterioro del aislamiento que será aparente sólo de forma tardía.

Las causas más frecuentemente encontradas de sobrecalentamiento que originan el enfriamiento inadecuado, para el caso de minas de carbón, son la localización del equipo en un lugar pobremente ventilado y/o la cubrición por una capa gruesa de polvo u otro material sobre el equipo o sobre los cables situados en el suelo.

Electricidad estática

Para que la formación de cargas eléctricas pueda representar por sí sola un riesgo de incendio, de deflagración o de detonación, tiene que haber una descarga o súbita combinación de las cargas positivas y negativas.

Para que la electricidad estática se convierta en una fuente de ignición deben cumplirse las siguientes condiciones:

- 1º. Haber unos medios efectivos de generación de electricidad estática
- 2º. Existir unos medios que acumulen las cargas separadas y que mantengan un adecuado diferencial de potencial eléctrico.
- 3º. Producirse una descarga en forma de chispa de energía suficiente.
- 4º. La chispa tiene que ocurrir ante la presencia de un material que pueda entrar en ignición.

Pueden presentarse cargas electrostáticas en las siguientes combinaciones; sólido-gas (polvo combustible en gas comburente, o polvo combustible o no en mezcla gaseosa comburente y combustible), sólido-líquido, líquido-gas, líquido-líquido, gas-líquido y sólido-sólido.

Dentro de las obras subterráneas, la electricidad estática se produce por:

- El paso de vapor de agua o aire cargado de partículas finas a través de tuberías o mangueras.
- En correas de transmisión o cintas transportadoras de material no conductor en movimiento.

- Fragmentación en gotas de la corriente de un líquido y subsiguiente impacto de esas gotas contra un sólido.

Además, en ciertos líquidos, sobretodo en el caso de los hidrocarburos, puede acumularse cierta cantidad de electricidad electrostática que, si es de suficiente magnitud, pueden producirse chispas de descarga. Al producirse chispa en presencia de mezcla inflamable de vapor y aire, tendrá lugar la ignición.

Soldadura y oxícorte

En la mayoría de las obras subterráneas existe la necesidad de realizar tareas de soldadura o corte de metal.

La operación de soldadura necesita el aporte de energía calorífica para fundir el metal, y este hecho tan simple puede generar un incendio.

El proceso de oxícorte consiste en el corte de un metal por una combustión del mismo (figura 19). Para ello, es necesario la presencia de un combustible a su temperatura de ignición (el hierro o metal que se trate), un comburente (el oxígeno) y un agente iniciador (la llama del soplete), que es el elemento que podría causar un fuego al ser un claro foco de ignición.



Figura 19. Botellas para oxicorte

Gracias a la presencia de la llama de precalentamiento o agente iniciador, comienza una reacción exotérmica de combustión del hierro, que provocará finalmente el corte de la pieza. El óxido resultante de la combustión fluye constantemente por la ranura del corte, calentando las paredes, y de esta forma va propagándose la reacción de combustión por el metal.

Otra fuente de ignición es la soldadura eléctrica. En este procedimiento de soldadura el metal se funde debido al calor producido por la acción de un arco voltaico que salta entre electrodo (combustible o no) y el metal base (pieza a soldar) Las temperaturas alcanzadas superan los 4273 K. Los diferentes procedimientos utilizados vienen determinados por:

- Tipo de corriente (continua o alterna) y aparato que la produce (generador o convertidor)
- Tipo de electrodo (de grafito o metálico)
- Revestimiento del electrodo (con o sin revestimiento)

Atmósfera que rodea el electrodo (CO₂, argón, helio, o mezclas de gases)

Explosivos

Una ignición o explosión de gas inflamable o polvo de carbón por el uso de explosivos son debidos normalmente al disparo, que es función del tipo de pega utilizada (tipo de mecha retardada) o un retacado inadecuado de los barrenos realizados. Otra causa adicional de ignición puede ser la técnica de taqueo.

Otros

- El rechazo de un compresor de aire mal refrigerado
- El calor producido por cable de tracción rozando sobre madera o piezas metálicas.

9.2 MINAS DE CARBÓN

9.2.1 Materiales combustibles específicos

El carbón

El carbón en sí mismo es un material combustible. Se encontrará no sólo en la capa que se esté explotando (figura 20) sino que estará presente en zonas de almacenamiento y transporte en el interior de la mina. Si se utiliza la técnica de cámaras y pilares, el carbón formará parte de estos.



Figura 20. Carbón del avance de guía

Gases inflamables: El metano

En las minas de carbón existe grisú, que es una mezcla de metano y aire, que a determinadas concentraciones causa la explosión.

El metano contenido en las capas de carbón se produce por la descomposición de la vegetación al tiempo que se forma dicho material.

La cantidad de grisú varía según el tipo de carbón que se encuentre en la mina, y su desprendimiento depende de distintos factores; la profundidad y la velocidad de arranque.

Cuanto mayor sea la profundidad a la que se encuentre una galería, mayor será la cantidad de grisú desprendido de la capa de carbón, ya que será mayor la diferencia entre la presión a la que está el aire de la galería (presión atmosférica) y la presión a la que está el grisú contenido en la capa de carbón de la galería.

En relación a la velocidad de arranque del carbón, cuando ésta sea mayor, la cantidad de grisú desprendido por unidad de tiempo también será mayor.

El límite legal para el grisú en la atmósfera de una obra subterránea, según la ITC 05.0.02, sobre contenidos límites de metano en la corriente de aire, es de 1'5%, excepto los retornos de aire principales (que sería 0,8%) y retornos de los talleres electrificados (que sería el 1%).

El polvo de carbón

El polvo de carbón se genera durante las operaciones de voladura, arranque y transporte de carbón. Las partículas de polvo son visibles a partir de un tamaño de 40 μ m. El polvo de carbón producido en las minas es muy fino, sobre todo según aumenta la distancia a la fuente de polvo. El polvo es muy difícil de suprimir de las zonas de trabajo y se deposita en todas las superficies pudiendo llegar a formar capas de varios centímetros de espesor. Estos depósitos de carbón pueden arder o provocar un explosión e incrementan el peligro de explosión del metano. Las superficies más peligrosas en las que se puede depositar el polvo de carbón son aquellas susceptibles de calentamiento elevados, como pueden ser las máquinas eléctricas o a las cintas transportadoras.

A partir de mezclas híbridas de polvo de carbón y metano, se pueden originar explosiones de mayor peligrosidad, ya que el límite inferior de inflamabilidad de estas mezclas es inferior al del metano sólo. Por tanto, en caso de tener mezcla híbrida, el porcentaje de grisú nombrado anteriormente no presenta un margen de seguridad tan amplio.

Cuando aparecen conjuntamente polvo combustible y gas inflamable (mezclas híbridas) la influencia provoca cambios en el comportamiento esperado, pudiendo producirse, para ciertas mezclas, explosiones por debajo del límite inferior de explosividad (LIE) del gas y por debajo de la concentración mínima explosiva del polvo

(CME). Por lo tanto, la concentración mínima explosiva del polvo se reduce cuando éste está presente en una mezcla híbrida. Un ejemplo para el caso concreto de una mina, es la mezcla de metano y polvo de carbón, cuyo comportamiento se puede apreciar en la figura 21.

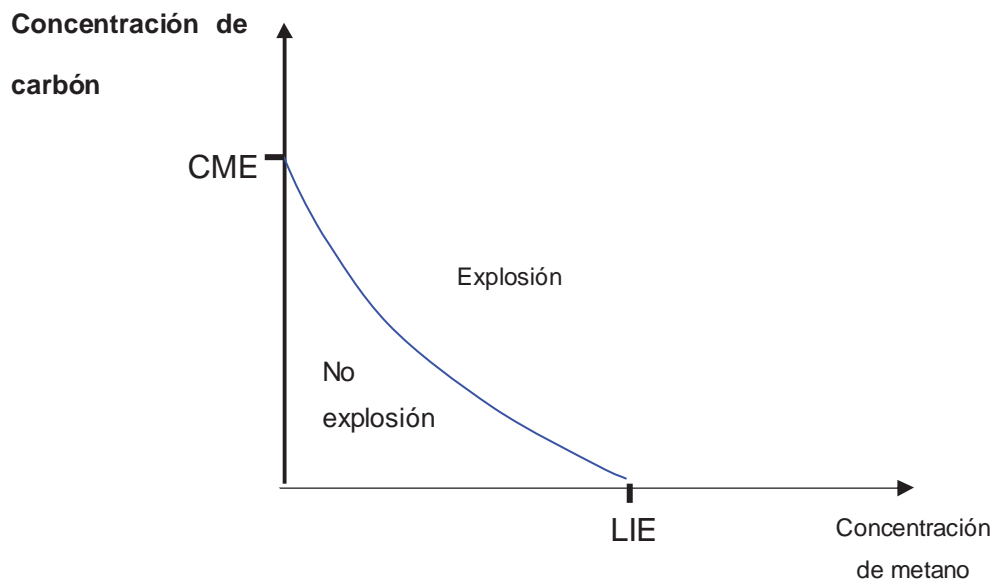


Figura 21. Valoración de la CME al aumentar la concentración de metano.

Medida del grisú

- *En la atmósfera:*

Los elementos más utilizados son: lámpara de seguridad de gasolina, prácticamente en desuso, grisúómetros y metanómetros diversos de lectura diversa y rápida, y estaciones de telecontrol, para el control automático de metano por medio de lecturas continuas de detectores colocados en puntos importantes de la mina: frentes de avance, talleres de explotación o retornos de ventilación. Además, suelen llevar asociadas alarmas y permiten la parada o corte automático del suministro eléctrico.

- *En el carbón:*

Las capas de carbón casi siempre contienen grisú, aunque éste no se mida en la atmósfera de la mina o se manifieste de forma evidente. Se han estudiado las propiedades que tenían las capas de carbón de las minas que han tenido accidentes de grisú y se han encontrado las propiedades del gas y del carbón que mayor influencia tienen sobre los incidentes. Estas propiedades son:

- Concentración de gas en capa
- Velocidad de desorción del gas
- Presión que tiene el gas dentro de la capa
- Porosidad del carbón
- Tensiones mecánicas o presión de los hastiales sobre la capa

La combinación de varios de ellos puede provocar el desprendimiento de metano, por tanto los valores anormales de cualquiera de estos parámetros constituye una señal de alarma.

Medida del polvo de carbón

El riesgo de explosión de polvo depende del contenido en volátiles del carbón. Cuanto mayor es el contenido en volátiles de un carbón, mayor es su inflamabilidad.

Para determinar el contenido en volátiles es necesario efectuar el análisis inmediato del carbón. Con este análisis se obtiene el contenido en cenizas, humedad y volátiles, y por diferencia se obtiene el contenido en carbono fijo.

9.2.2 Fuentes de ignición específicas: fricción de picas en el material de arranque

En el caso de chispas producidas por el rozamiento en minas de carbón, es importante tener en cuenta que no es el propio rozamiento de las herramientas de corte (o picas del minador/rozadora) con el carbón lo que produce las chispas, sino que éstas se producen por el rozamiento con los hastiales cuando estos están formados fundamentalmente por arenisca, roca que produce chispas con mayor probabilidad, o cuando se rozan nódulos de pirita o siderita que pueden presentarse dentro de la capa de carbón (figura).



Figura 22. Tambor de arranque de una rozadora en el frente

Para que se produzcan fuegos a partir de estas chispas, es necesario no sólo la presencia de los elementos ya comentados, sino también una serie de condiciones de presión ejercida por la cabeza del minador y la velocidad con la que roza, tiempo de rozamiento, y concentración de metano que exista en el momento (los ensayos de chispas realizados hasta el momento trabajan a unas concentraciones de metano de un 6%, concentración próximas a las condiciones normales en minas de grisú).

Una vez producida la chispa puede o no producirse el fuego, dependiendo por tanto de los factores que se han sido nombrados anteriormente.

9.2.3 Estudio de la autocombustión del carbón como fuente de ignición específica

9.2.3.1 El origen de la autocombustión del carbón

La autocombustión del carbón se produce por la acumulación del calor liberado en la interacción del oxígeno del aire con la superficie del carbón a temperatura ambiente. Es un proceso físico-químico que comienza con la adsorción del oxígeno por el carbón y continúa con la reacción exotérmica de oxidación de la materia carbonosa.

9.2.3.2 Mecanismo de la autocombustión: Teoría de la autoignición

La autocombustión es el proceso por el cual el carbón y el oxígeno reaccionan espontáneamente bajo determinadas condiciones ambientales.

El proceso de autocombustión ocurre en cuatro fases:

1º. **Adsorción/ quimiosorción:** en esta fase el oxígeno es adsorbido a la superficie del carbón y forma un complejo inestable compuesto por OH, COOH y CO, y calor. Este proceso ocurre a temperaturas superiores a 343 K. No existe desprendimiento de CO en esta etapa.

2º. **Adsorción- complejo en descomposición:** los compuestos formados en la fase anterior se descomponen produciendo humedad, CO, CO₂ y H₂. La velocidad de oxidación del carbón aumenta con la temperatura y humedad en presencia de pirita. La fijación de un 1% de humedad en condiciones adiabáticas aumenta más de 20 grados la temperatura. La temperatura del proceso se encuentra en un intervalo de 353 a 423 K.

3º. **Formación del complejo carbono-oxígeno:** a medida que aumenta la temperatura, debida a la oxidación del carbón, comienzan a formarse complejos de C-O. El producto dominante en esta fase es el CO₂. Durante esta etapa se alcanzan temperaturas de hasta 503 K y se mantiene durante un tiempo debido a las reacciones exotérmicas de la producción del complejo C-O.

4º. **Combustión:** en esta fase cesa la formación del complejo carbono-oxígeno y comienza la combustión. Las temperaturas exceden ahora los 503 K. Cuando ocurre la combustión del carbón existe una rápida disminución de su peso. El resultado final es la generación de una gases; CO, CO₂ , H₂ , SO₂, etileno y propileno, junto al desprendimiento de calor.

Es importante tener en cuenta que el aumento de temperatura provoca el desprendimiento de cantidades crecientes de CH₄, etano y gas carbónico que constituyen el llamado grisú, gas combustible de considerada importancia en minería por su capacidad de formar atmósfera de gas explosiva.

Las condiciones necesarias para que se produzca la autoinflamación son: la tendencia a la oxidación, una mala transmisión de calor y afluencia de aire.

9.2.3.3 Propiedades de los carbones en relación con la autocombustión

Un carbón puede ser más ó menos susceptible a la autocombustión, dependiendo de determinadas propiedades que analizamos seguidamente.

Rango

El rango del carbón es uno de los factores que determinan su susceptibilidad a la autocombustión, de manera tal que, como regla general, los lignitos presentan la

susceptibilidad máxima, disminuyendo hacia las antracitas. Esta afirmación se basa en que en las pirólisis de los carbones de bajo rango:

A temperaturas bajas (~443 K), se producen componentes volátiles ricos en hidrógeno con bajas energías de activación, cuya oxidación constituye una fuente de calor importante.

A temperaturas elevadas (~573 K), se producen radicales libres altamente reactivos que también se oxidan fácilmente liberando calor.

Naturalmente para la formación de estos componentes y su colaboración al proceso de autocombustión, es preciso alcanzar temperaturas muy por encima de 373 K, por lo que el autocalentamiento inicial debe ser originado por otro tipo de procesos físico-químicos basados en otras propiedades del carbón.

Volátiles

La referencia existente sobre la influencia del contenido en materias volátiles sobre la susceptibilidad a la autocombustión del carbón, son los ensayos sobre el particular realizados por el antiguo Bergbau-Forschung sobre muestras de carbón provenientes de minas alemanas. En dichos ensayos, realizados a 313 K (40° C), se midió la "velocidad de oxidación del carbón" (mgO₂/kg.min), tras 10 h y 100 h de exposición al O₂ respectivamente. Los resultados se muestran en la figura 23.

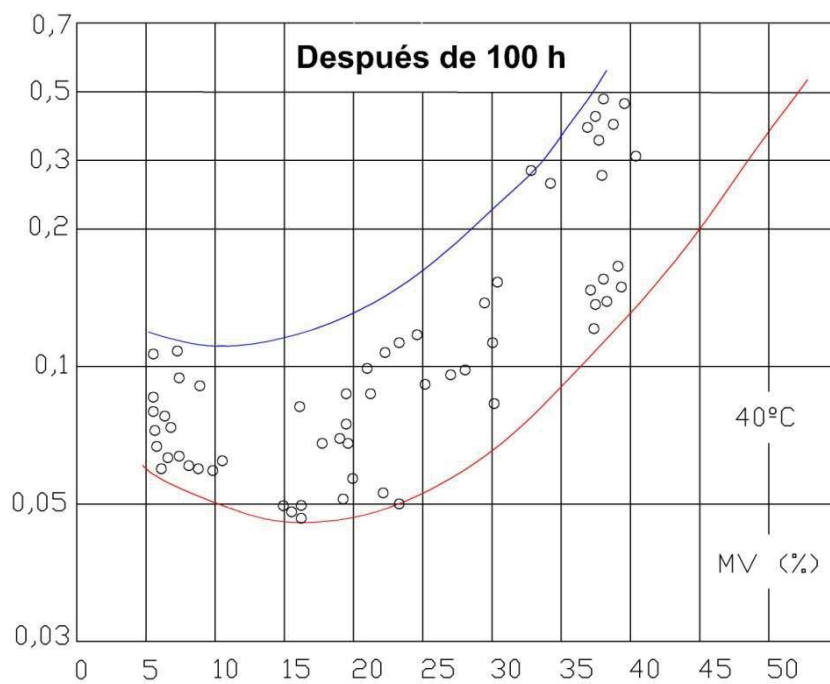
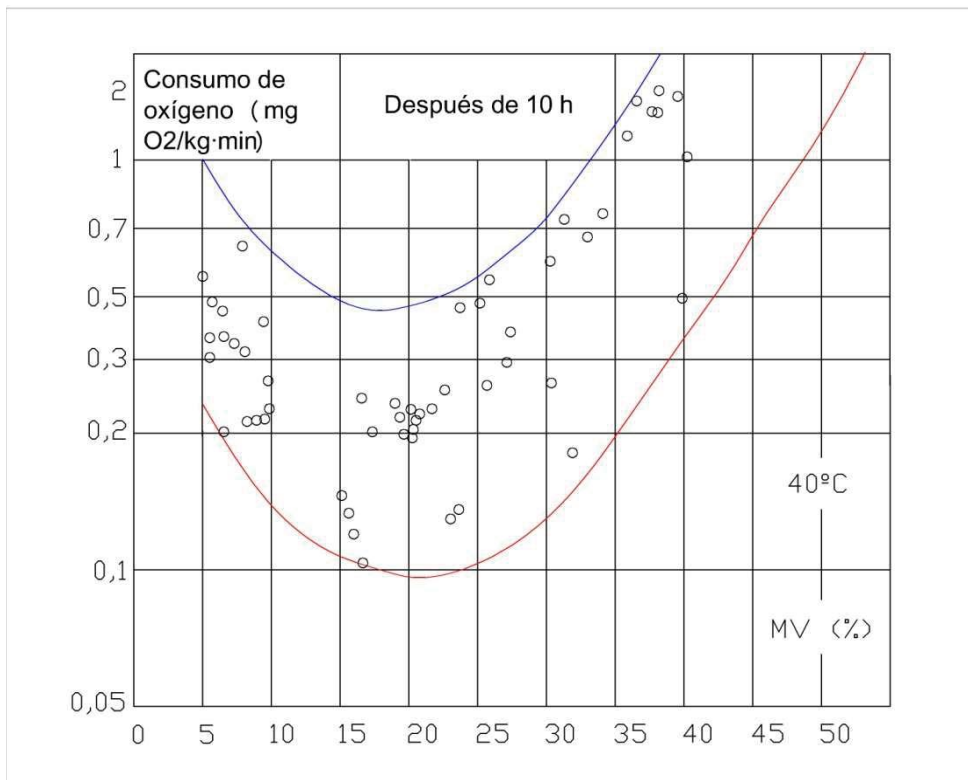


Figura 23. Velocidad de oxidación en función del contenido en volátiles

Como se observa la velocidad mínima corresponde a los carbones con un contenido en volátiles comprendido entre el 15% y el 25%, aproximadamente. Se aprecia también que con 10 h de exposición, las antracitas y las hullas con alto contenido en volátiles se comportan de forma análoga respecto al consumo de oxígeno (alta velocidad de oxidación), sin embargo tras 100 h las antracitas se "saturan" mientras que las hullas continúan su oxidación aunque con menor velocidad.

Este hecho confirma también que los carbones de bajo rango (lignitos o hullas subbituminosas) tienen una avidéz superior por el oxígeno y por tanto una susceptibilidad mayor a la autocombustión.

También se observa que la velocidad de oxidación está directamente asociada al tiempo de exposición del carbón a la acción del oxígeno, resultando una función de \sqrt{t} .

Como se observa en la figura 24, la velocidad de oxidación disminuye en función del tiempo, siendo mayor esta disminución en los carbones de mayor rango.

La velocidad de fijación del oxígeno a una temperatura determinada, es mayor en el comienzo de la oxidación y va disminuyendo continuamente con el tiempo, según progresa la oxidación.

Durante la oxidación el carbón pierde propiedades de adsorción, disminuyendo el ΔP a medida que aumenta la oxidación y por lo tanto disminuyendo también su velocidad de oxidación (ver Anexo B).

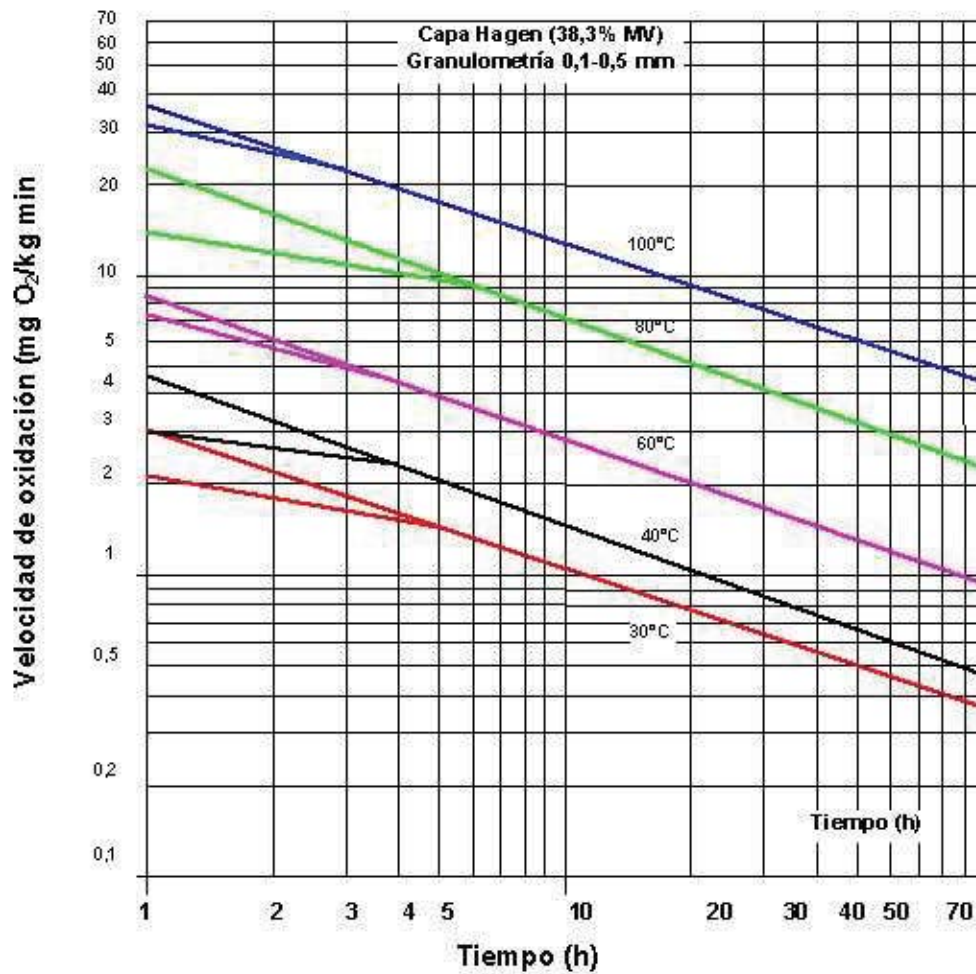


Figura 24. Variación de la velocidad de oxidación en función del tiempo

Constituyentes petrográficos

Ciertos macerales del carbón son más propensos a reaccionar con el oxígeno que otros, como es el caso de la fusinita y la vitrinita. La vitrinita es la más susceptible, mientras que la susceptibilidad de la fusinita aumenta con la temperatura.

Chamberlain y Hall estudiaron distintos grados de oxidación entre los grupos micropetrográficos de carbones ingleses. Los componentes micropetrográficos eran la inertinita, la exinita y la vitrinita. Cada uno de los componentes se calentó a 323, 373 y 423 K en atmósfera de oxígeno. Las exinitas mostraron una reactividad mayor que los otros dos componentes.

La mayor velocidad de oxidación de la exinita mostró que podían servir como puntos del carbón favorables para la generación de calor.

La exinita tiene una relación hidrógeno/carbono mayor que otros macerales,, por lo que puede ser más susceptible a la oxidación debido a la riqueza en hidrógeno.

También determinaron que la mayor parte del contenido de la exinita era la exudanita y que ésta reacciona fuertemente con la alteración térmica. Por ello la existencia de grandes concentraciones de exudanita y especialmente si está diseminada, puede contribuir a la tendencia del carbón a la autocombustión.

Pandolfo (1898) investigó la reactividad de los macerales y observó que la fusinita mostraba gran capacidad para adsorber vapor de agua a medida que progresaba la oxidación. En cambio la vitrinita mostraba un pequeño cambio.

Granulometría

La velocidad de oxidación aumenta con la disminución de la granulometría del carbón. La explicación se encuentra en que para una misma cantidad de carbón, una menor granulometría tiene una mayor superficie activa para reaccionar con el oxígeno. La cantidad de oxígeno consumido por el carbón y el desprendimiento de calor correspondiente, depende de la magnitud de la superficie específica del carbón.

Según Schmidt el grado de oxidación a baja temperatura, es proporcional a la raíz cúbica de la superficie específica.

Scott sin embargo, llegó a la conclusión que para tamaños mayores a 0,83 mm, la velocidad de oxidación es directamente proporcional al área superficial. Para tamaños menores, la porosidad del carbón permite el paso del oxígeno sin reaccionar.

Influencia de la pirita

El carbón contiene piritas, generalmente de hierro, con concentraciones que a veces superan el 13%. En un principio ya se sospechó que el calor producido en la oxidación de la pirita a temperatura ambiente era el causante del calentamiento espontáneo del carbón. Actualmente, ha quedado demostrado que la pirita presente en el carbón únicamente ayuda a que se produzca la oxidación de la materia carbonosa debido a la fracturación que produce en el carbón y el consiguiente aumento de la superficie libre expuesta al aire, y también por el aumento de temperatura producido por su propia oxidación.

La reacción de oxidación de la pirita en aire húmedo puede representarse de la siguiente forma:



o también:



Como ya mencionamos, para que la pirita contribuya al autocalentamiento del carbón, ha de presentarse finamente dividida y en proporciones superiores al 5%. Si se encuentra presente en forma de nódulos, cuñas, o en formas muy cristalizadas, contribuye muy poco al calentamiento inicial.

Por lo tanto, el contenido de pirita en el carbón favorece la reacción con el oxígeno y su oxidación acelera el proceso de calentamiento espontáneo. En la figura 25 se muestra la influencia del contenido en pirita sobre la velocidad de calentamiento con muestras de carbón de St. Georges.

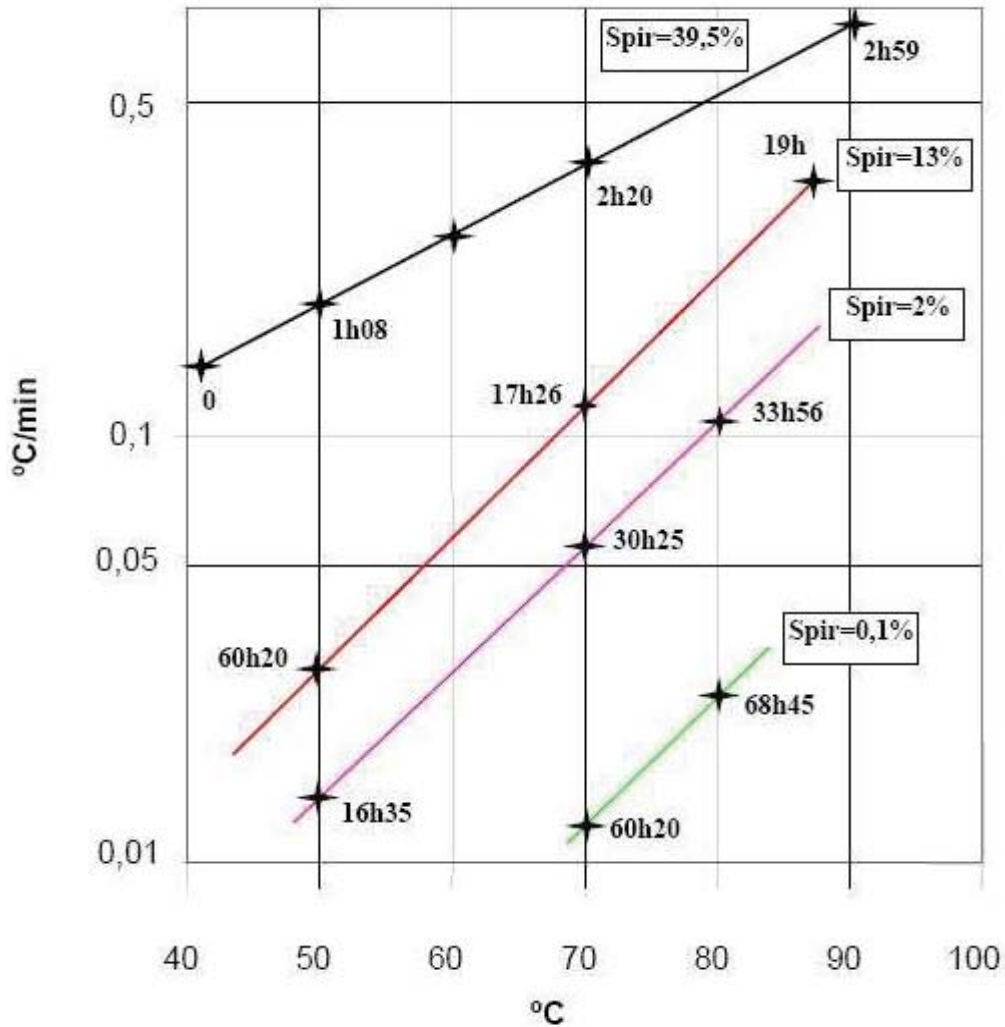


Figura 25. Muestras de la capa Saint-Georges. Influencia del contenido en pirita sobre la velocidad de calentamiento (Diagrama de Arrhenius)

Se ha observado también el fenómeno de que el carbón sulfurado presenta una mayor reactividad frente al oxígeno, particularmente en presencia de óxidos de hierro. La presencia de iones alcalinos (Ca y K) puede neutralizar el efecto de la pirita.

Humedad

Existen carbones que, sin presencia de pirita o en cantidades mínimas, son susceptibles sin embargo a la autocombustión. Este calentamiento puede ser debido a la fijación de humedad. La condensación del vapor de agua en los poros del

carbón y en sus fisuras produce una liberación del calor latente de condensación. Este efecto produce un aumento de temperatura acelerando la reacción, a baja temperatura, hasta que el carbón se satura (figura 26).

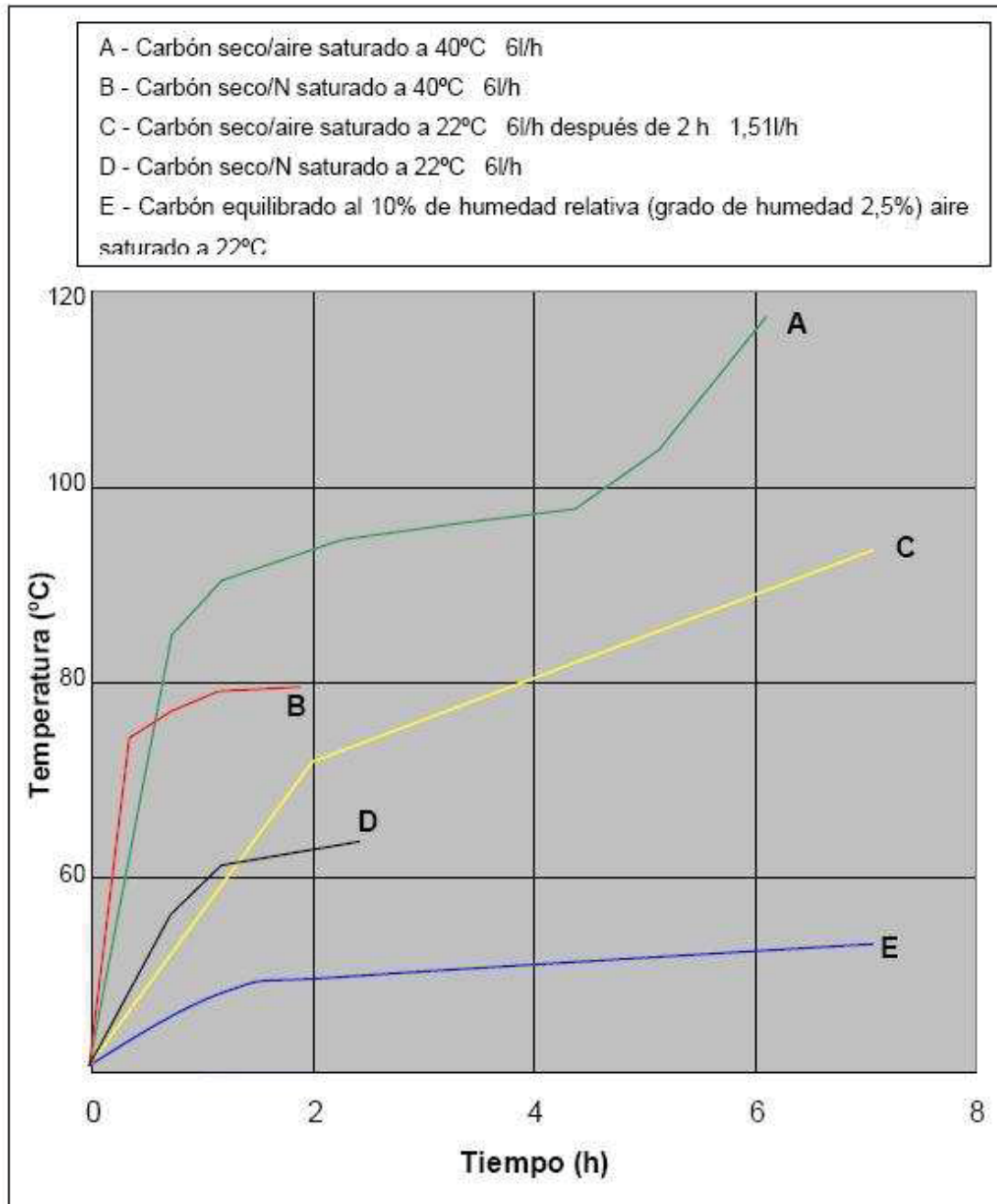


Figura 26. Curva de calentamiento debido a la fijación de la humedad por el carbón

En ese momento la velocidad de reacción disminuye bruscamente pero vuelve a aumentar con el incremento de la temperatura; está relacionada con la velocidad de

calentamiento y puede representarse en un diagrama de Arrhenius, obedeciendo a la ley $V = V_0 \cdot e^{-E/RT}$. En un principio, a temperaturas poco elevadas, el efecto de disminución de la velocidad en función del tiempo es mayor que el efecto del aumento de la velocidad en función de la temperatura. Por eso, en principio se observa una disminución de la velocidad de calentamiento hasta llegar a un punto en el cual la velocidad de calentamiento aumenta rápidamente.

Dependiendo del tipo de carbón, la fijación de la humedad será mayor ó menor. En la mina, esta circunstancia no es fácil que se dé ya -que el carbón está en un punto muy próximo a la saturación y apenas puede fijar agua, a no ser que circunstancias especiales sequen el carbón. Este efecto, puede ser muy peligroso y producir un calentamiento muy rápido ya que el calor latente de condensación del agua es de 2,436 KJ/gr a 298 K.

En cuanto a la humedad del carbón, se ha observado en pruebas realizadas con lignito, que existe un mayor incremento en el contenido de radicales libres en una oxidación en ambiente seco que en ambiente húmedo, por lo que la humedad no hace más reactivo el lignito.

Polat y Hasris (1986) examinaron la oxidación de un lignito a 308 K. Se observó que la velocidad de reacción disminuyó 10 veces. No había ninguna disminución de oxígeno que lo explicara, por lo tanto debía achacarse a la disminución de espacios en los que reaccionar. Esto indicaba que la oxidación producía inhibidores de la reacción. Los dos posibles inhibidores podrían ser el agua y el CO₂. Se pensó que las moléculas de agua podrían ocupar los espacios en los cuales reaccionaba el oxígeno.

Por otra parte, un carbón almacenado expuesto a una atmósfera del 80% de humedad relativa es más reactivo que al 40%. Ambas muestras estaban a 353 K y eran menos reactivas que el carbón fresco. Así, la mayor humedad en el almacenamiento parece conservar la reactividad del carbón para su posterior oxidación.

Este comportamiento se explica porque la meteorización durante el almacenamiento reduce la reactividad pero esto se compensa parcialmente por el incremento de la reactividad inducido por el contenido en humedad. Una explicación más simple es que la humedad inhibe la oxidación a baja temperatura.

El incremento de la reactividad puede ser aparente, ya que podría ser debido a la disponibilidad de espacios para reaccionar antes de ser protegidos por la humedad.

Muy peligrosas son las zonas de la mina en las que ha habido una invasión de agua y después una desecación, debido a que quedan más superficies frescas para su reacción con el oxígeno.

Meteorización

El carbón meteorizado no es propenso a la autoinflamación, pues la meteorización del carbón presenta un proceso de oxidación lenta, bajo condiciones de disipación constante, de eliminación de calor y de los productos de oxidación que se forman (figura 27).



Figura 27. Carbón meteorizado

Composición química y grado de metamorfismo:

Con el aumento del grado de metamorfismo del carbón, su tendencia a la inflamación disminuye. De esta manera, los carbones pardos son más autoinflamables que los negros, y dentro de estos últimos, son más peligrosos debido a la autoinflamación los carbones de llamas largas y los carbones de gas. Muy raramente se inflaman las antracitas y son los lignitos los que presentan una susceptibilidad máxima.

9.2.3.4 Factores que influyen en la autoinflamación del carbón

Los factores que afectan a la autoinflamación del carbón, se clasifican según:

- Características de la capa:

Rango del carbón: cuanto mayor es el rango del carbón, menor es el ratio de oxidación y menor es el riesgo de autocombustión.

Composición petrográfica: los constituyentes del carbón aportan o promueven la autocombustión, siendo, en orden decreciente; vitrinita, clarita, durita y fusita.

Temperatura: una vez iniciada la oxidación, la velocidad de reacción se duplica cada 283 K.

Tamaño de la partícula: la oxidación comienza en la macroestructura del carbón, pero a medida que aumenta la temperatura, aumenta también la permeabilidad y el oxígeno llega a la microestructura.

Sulfuros metálicos: cuando los sulfuros, presentes en piritas, se oxidan, el carbón se desintegra, por tanto aumenta la oxidación del carbón al tener más superficie en contacto con el aire.

Propiedades físicas: un aumento de *porosidad* supone un aumento de la superficie expuesta, y un aumento de la *permeabilidad* facilita también la entrada de oxígeno a través de los poros. La *dureza* determina la facilidad con la que un carbón se rompe y una alta *conductividad térmica* implica un desprendimiento rápido de calor y menos probabilidad de autocombustión.

Movimiento del estrato: la presión sobre el estrato contribuye a la autocombustión.

Actividad microbiológica: la existencia de actividad microbiológica puede aumentar la temperatura en el suelo y facilitar la autocombustión.

- Condiciones geológicas:

Grosor de la capa: las capas más gruesas tienen una mayor probabilidad de contener carbón o estériles que puedan combustionar. El grado de recuperación del carbón disminuye apreciablemente en el laboreo de las capas más gruesas o potentes, dando lugar a la existencia de carbón residual., que puede quedar en contacto con una débil corriente de ventilación.

Gradiente de capa: cuanto mayor es la inclinación de una capa más propensa es a la autocombustión ya que tiene más problemas de ventilación debido a que la fuerza de ascensión del aire es menor, menor fenómeno de convección, y esto provoca una mayor diferencia de temperaturas.

Fallas: el carbón debe ser abandonado cuando una explotación tope con una falla, la cual origina zonas de concentración de tensiones que dan lugar a una carbón muy

fracturado, que facilita la entrada de aire al interior y, por tanto, aumenta la probabilidad de combustión.

Características del hundimiento: dependiendo de las características de los hastiales, las presiones sobre la capa de carbón pueden ser mayores o menores, y esto influye en la fracturación del carbón. Para reducir al mínimo las corrientes de aire es importante rellenar el hueco con un material lo más fino posible y de un tamaño uniforme.

Friabilidad del carbón: los carbones más friables tienden a producir finos, por lo que debido a las grandes superficies para reaccionar, tienen mayor tendencia a la autocombustión.

Carbón quemado de forma natural y oxidado: dependiendo de la temperatura que alcance el carbón, una vez enfriado, aceptará más o menos oxígeno. Así, a temperaturas de 493 K- 670 K, el carbón, una vez enfriado, es más oxidable.

Desorción: una capa que libera gases, normalmente libera carbón en polvo que es propenso a la combustión.

Profundidad del carbón: la profundidad de la capa puede ser un factor de riesgo porque a mayor profundidad hay una mayor temperatura. La temperatura en la tierra aumenta 273 K cada 33 m de profundidad. Además, al tener un recubrimiento mayor se produce una mayor fractura en la capa por lo que aumenta el riesgo de autocombustión.

Por otra parte, si el recubrimiento es pequeño, o lo que es igual, si hay poca profundidad, es más fácil la entrada de aire desde la superficie de la capa a través de las posibles fisuras.

Capas superiores: cuando las capas se encuentran muy próximas entre sí, existe una mayor probabilidad de combustión, ya que existe entre ambas una corriente de aire mayor.

Gases de capa: cantidades significativas de metano ocupan los poros e impiden el proceso de autocombustión.

- Factores mineros:

Labores de infraestructura y acceso a las capas: la realización de infraestructuras y acceso a las capas de carbón, incrementará la probabilidad de aparición de fuegos en la zona de carbón en la zona de carbón fisurado que inevitablemente rodea a la excavación realizada.

Métodos de explotación: la casuística revela que las labores de arranque de carbón en fondo de saco presentan menos riesgo con relación a los fuegos que los talleres recorridos por la corriente principal de ventilación.

En los métodos de explotación con talleres recorridos por la corriente principal de ventilación, los **tajos en avance** se han mostrado más favorables a la aparición de fuegos que los **tajos en retirada**, debido sin duda a la existencia de mayores fugas de ventilación a través del hundimiento.

El método de **sutiraje** en las capas potentes es menos propenso a fuegos que los métodos antiguos, a pesar de la recuperación parcial, ya que los métodos como el tajo largo, conducen a numerosas situaciones que facilitan la penetración de aire en el carbón hundido.

La utilización una zona grande de pilares de carbón y su abandono da lugar a una mayor probabilidad de combustión, ya que proporciona un área de infiltración lenta a través del carbón fracturado.

En una explotación por **subniveles**, se puede combatir un fuego renunciando a la recuperación del carbón en esa zona y tabicando el recorte. Por lo tanto, es menos problemático un fuego en una explotación por subniveles que en una de tajo largo.

Presión de ventilación y caudal: una diferencia de presión a través de una zona fracturada puede inducir una corriente de aire. Este factor es importante cuando ocurre en una zona aislada donde existe probabilidad de fuegos.

Un pequeño aumento de ventilación puede originar un calentamiento, debido a que un pequeño aporte de oxígeno activa la reacción de combustión.

Humedad: una alta presión de vapor en el aire que atraviesa el carbón fracturado favorece la combustión, ya que favorecería la adsorción de oxígeno.

10 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO

Una vez que se conocen tanto la química del incendio como los factores que influyen en él, se puede seguir el siguiente esquema (figura 28), de manera que podamos resaltar y desarrollar las situaciones de riesgo, y tomar las medidas oportunas para su prevención.

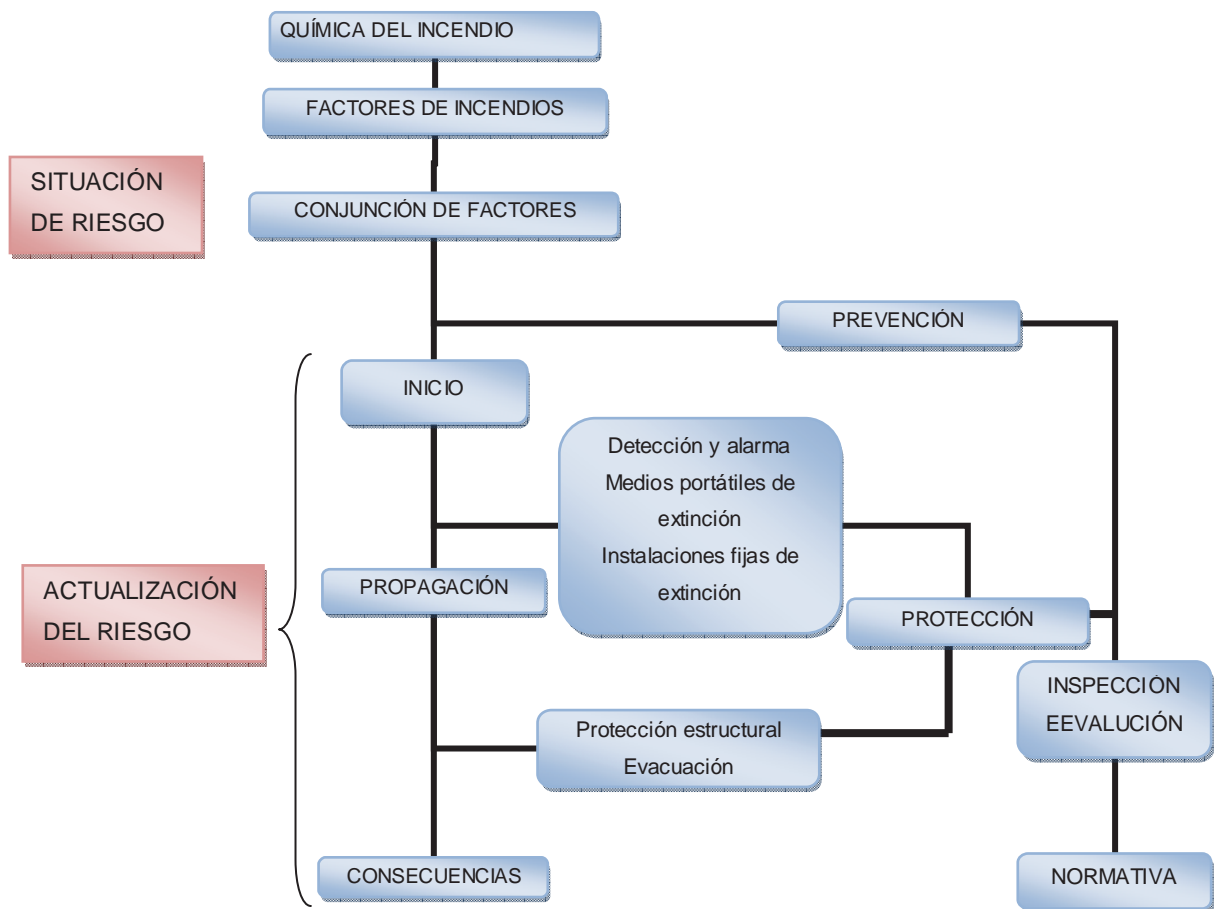


Figura 28. Metodología de actuación

- El incendio se inicia cuando se conjugan una serie de factores en espacio y tiempo determinantes de la situación de riesgo
- Si la conjunción de factores se produce con la suficiente intensidad el incendio se inicia.
- Si el conato de incendio no se extingue a tiempo se producirá su propagación y de ello dependerán una serie de consecuencias, económicas y humanas.
- Para evitar el incendio se utilizan las medidas de prevención.
- Para eliminar o reducir la propagación y las consecuencias del incendio se emplearán medidas de protección (medios de detección y alarma, medios de extinción fijos o portátiles, protección estructural y vías y planes de evacuación).
- Las inspecciones periódicas permitirán la evaluación del riesgo.

El riesgo de que un incendio se inicie o se propague viene determinado por las medidas de prevención no adoptadas. La mayoría de los incendios tiene su origen en la no adopción de medidas simples de prevención, existiendo sólo un bajo porcentaje de riesgo que no puede ser totalmente anulado.

Deben impedirse las consecuencias materiales y humanas mediante la normativa legal existente. Es imprescindible conocer las condiciones de peligrosidad en la ubicación, a fin de que quede reducido el peligro.

El riesgo de aparición de incendio puede determinarse en función de las medidas de prevención que deberían tomarse. Si están tomadas la probabilidad será baja. Si no están tomadas la probabilidad será alta.



La determinación de que el riesgo de fuego o incendio ocurra puede graduarse desde alta hasta baja, con el siguiente criterio:

- Probabilidad alta: El daño ocurrirá siempre o casi siempre.
- Probabilidad media: El daño ocurrirá en algunas ocasiones.
- Probabilidad baja: El daño ocurrirá raras veces.

La severidad de las consecuencias, tanto a personas como a instalaciones, vendrá graduado de la manera siguiente:

- Ligeramente dañino: Daños menores, accidentes laborables leves o daños leves a la instalación.
- Dañino: Daños severos, accidentes laborables graves o daños graves al sistema
- Extremadamente dañino: Muertes o pérdida de las instalaciones

Los niveles de riesgo representan un punto de partida para la toma de decisiones en cuanto a los esfuerzos precisos para el control del riesgo y a la urgencia con la que deben adoptarse las medidas de control. La descripción de los niveles de riesgos es la siguiente.

- Trivial: No requiere acciones específicas.
- Tolerable: No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar más rentables mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
- Moderado: Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un periodo determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
- Importante: No debe comenzar el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo.
- Intolerable: No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

La determinación del nivel de riesgo se puede calcular en función de la probabilidad y las consecuencias que provoca dicho riesgo de acuerdo con la siguiente tabla:

		CONSECUENCIAS		
		Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente Dañino
PROBABILIDAD	Baja	Riesgo trivial	Riesgo tolerable	Riesgo moderado
	Media	Riesgo tolerable	Riesgo moderado	Riesgo importante
	Alta	Riesgo moderado	Riesgo importante	Riesgo intolerable

El resultado de la evaluación de riesgos debe servir para hacer un inventario de acciones, con el fin de diseñar, mantener o mejorar los controles de riesgos. En cada caso habrá que contar con un procedimiento para planificar la implantación de medidas de control que sean precisas después de la evaluación de riesgos.

La evolución de riesgos debe ser un proceso continuo. Por lo tanto la adecuación de las medias de control debe estar sujeta a una revisión continua y modificarse si es preciso.

10.1 Propuesta de evaluación de riesgo de fuego e incendios mediante listas de chequeo

A continuación se propone una forma de evaluar el riesgo de incendio en minas y obras subterráneas. Sólo se pretende dar una visión general de todos los puntos a tratar y, en función de cada caso específico, se aplicarán los conceptos propuestos más adecuados.

Para ello, se utilizarán las listas de chequeo, que constituyen una herramienta útil y muy eficaz para verificar el cumplimiento de las medidas de seguridad o desviaciones de los estándares establecidos. Se puede utilizar una herramienta de evaluación

cualitativa que permita identificar los factores de riesgo que posibilitan la materialización del incendio e inciden en unas posibles consecuencias. Puede, asimismo, utilizarse como metodología para cuantificar (estimar la magnitud) del riesgo de incendio, basándose en la probabilidad de que se materialice el riesgo.

A continuación se desarrollan tres listas de chequeo. El objetivo de la primera de ellas es evaluar la probabilidad del riesgo de autoignición en minas de carbón u obras subterráneas que se estén realizando en este tipo de material. El segundo listado tiene el mismo propósito, pero es válido para el resto de minas y obras subterráneas. La última de ellas evaluará la severidad del daño y es válido para los dos casos anteriormente mencionados.

Los listados de evaluación de la probabilidad del riesgo consisten en una serie de preguntas sobre las medidas de prevención que deberían estar aplicadas. La probabilidad puede calcularse en función de las cuestiones que sean aplicables en cada caso.

El listado de evaluación de severidad del daño contiene cuestiones relativas a los sistemas de detección y de evacuación. Cuando haya ausencia de medidas de control, la severidad del daño será mayor. Habrá de ser evaluada en cada caso.

Evaluación de la probabilidad del riesgo de autoignición y explosiones en minas y obras subterráneas en carbón mediante *lista de chequeo*:

MEDIDAS PREVENTIVAS				
		SI	NO	NA
	A- Autocombustión			
1.	¿Se realiza un análisis previo de la propensión de la capa de carbón a la combustión espontánea?			
2.	¿Se realiza una evaluación del riesgo "in situ" de la combustión espontánea en la mina?			
3.	¿Existe una vigilancia continua de las zonas propensas a la autocombustión?			
4.	¿Existe un buen sostenimiento de campanas en la mina?			
5.	¿Se impermeabilizan las galerías y se realiza un posterior gunitado?			
	En relación a los métodos de explotación:			
	Método de tajos largos			
6.	¿Existe una velocidad mínima de avance en las zonas críticas del postaller?			
7.	Si existe parada larga, ¿se tabica y se toman medidas de detección?			
	Método de subniveles con sutiraje			
8.	¿Se realizan labores de apoyo como pozos y recortes en roca?			
9.	¿Se mantienen los subniveles estrictamente en fondo de saco?			
10.	¿Se evita la aparición de campanas en la realización del sutiraje?			
11.	¿Se lleva el hundimiento al corte?			
12.	¿Se emplea ventilación secundaria próxima al frente?			
13.	¿Se inyecta N ₂ después de paradas prolongadas de actividad en subniveles activos?			
14.	¿Se realiza el trazado del subnivel y la explotación en retirada a la mayor velocidad posible?			
15.	¿Se tabican los recortes rápidamente tras finalizar la explotación del subnivel?			
	Método de cámaras y pilares			
16.	¿Se extrae las pilas de carbón triturado de la mina?			
17.	En caso de no extraerse, ¿se vigilan dichas pilas?			
18.	¿Se impermeabilizan los pilares con sales higroscópicas?			

**Técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas
en las que se emplea técnica minera en su ejecución**

19.	¿Se alejan a mayores profundidades las pilas de carbón?			
Método de avance y retirada				
20.	¿Se realiza un sellado especial para evitar la diferencia de presión en el relleno con desechos?			
Zonas minadas				
21.	¿Se realiza un sellado en las zonas minadas donde quede carbón sin minar?			
22.	En caso contrario, ¿se ventilan completamente dichas zonas?			
En relación a la ventilación:				
23.	¿Existen planes de acción para en caso de fallo o parada de la ventilación?			
24.	¿Se reducen las diferencias de presión mediante tabiques y puertas?			
25.	¿Existe un control del tabicado de la mina?			
26.	¿Se realiza un barrido del postaller con nitrógeno para evitar fugas?			
27.	Tras el tabicado, ¿se utiliza hexafloruro de azufre para determinar fugas?			
En relación a los factores geológicos:				
28.	¿Se extrae totalmente el hundido de la mina?			
29.	¿Se procede al relleno de las capas con fuertes hastiales?			
30.	Si existe carbonero encima, ¿se procede al relleno del postaller?			
31.	Si existen fallas, ¿se impermeabiliza la zona?			
B- Gas inflamable en minas de carbón				
32.	¿Existe una vigilancia continua de la concentración del gas inflamable (CH ₄) durante el corte?			
33.	¿Existe un plan de drenaje del grisú?			
34.	¿Existen planes geológicos que proporcionen información sobre el contenido de gas inflamable?			
35.	¿Existe un control y vigilancia de todas las zonas selladas?			
36.	¿Existe una alarma en caso de fallar ventilador principal?			
37.	¿Han sido aprobados por un especialista todos los planes y secuencias de ventilación?			
Frentes accesibles				
38.	¿Se ha instalado un grisúmetro cerca del frente?			

**Técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas
en las que se emplea técnica minera en su ejecución**

39.	¿Se mantiene la concentración de metano en el aire de retorno inferior al 1%?			
40.	¿Se mantiene la concentración de metano en los talleres electrificados inferior al 1,5%?			
41.	¿Se mantiene la concentración de CO2 en la corriente de retorno inferior al 0,5%?			
42.	¿Se realizan comprobaciones frecuentes del caudal y distribución del aire?			
43.	¿Se realiza una ventilación total de las secciones de repuesto?			
44.	¿Se realiza una clasificación de las explotaciones según el riesgo de igniciones por fricción?			
45.	¿Se utilizan picas de mejor diseño y se reemplazan las que están desgastadas?			
46.	¿Se aplica agua en las rozadoras mientras se encuentran en funcionamiento?			
47.	¿Se mide la concentración del gas antes de proceder a la labor de corte?			
48.	¿Existe un sistema a bordo en las rozadoras que induce un flujo de aire en la zona de corte de manera que aumente la ventilación?			
49.	¿Los sistemas de ventilación a bordo funcionan antes del corte?			
50.	Si dichos sistemas no funcionasen bien o aumentase la concentración de gas inflamable, ¿se detiene el corte?			
	Frentes inaccesibles			
51.	¿Están las zonas minadas igual de ventiladas que los frentes activos?			
52.	¿Se han instalado tubos de muestreo a través de las zonas selladas?			
53.	¿Se han bloqueado los pozos de sondeo superficiales que cruzan la zona sellada?			
54.	¿Se han eliminado los revestimientos de dichos pozos?			
55.	¿Se han limpiado las galerías próximas al sellado?			
56.	¿Están los conductos de aire de retorno contiguos al exterior de los sellos?			
	Tajo largo			
57.	¿Existe un control eficaz del techo mediante derrumbamientos periódicos?			
58.	¿Existe un soporte del techo?			
59.	¿Se realizan pruebas de gas inflamable detrás de los soportes del frente?			

**Técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas
en las que se emplea técnica minera en su ejecución**

60.	¿Existe un sistema de purgado de gases a través de la parte explotada?			
61.	¿Existe una vigilancia de la distribución del flujo de aire en el sistema de purgado?			
62.	¿Se vigila el contenido de CO ₂ y CH ₄ en los extremos de admisión y retorno del frente?			
Extracción de pilares				
63.	¿Existe un sistema de ventilación auxiliar?			
64.	¿Está la dirección del aire en a lo largo del borde de la parte ya explotada?			
65.	¿Se vigila el aire que sale del sistema de purgado?			
66.	En caso de autocombustión, ¿se realiza una nueva valoración de la situación?			
67.	En caso de autocombustión, ¿se combina el sistema de purgado con una inyección de N ₂ ?			
68.	En caso de autocombustión, ¿se aumenta el flujo del purgador?			

Evaluación de la probabilidad del riesgo de incendio en otras minas y obras subterráneas mediante *lista de chequeo*:

MEDIDAS PREVENTIVAS				
		SI	NO	NA
Combustibles líquidos				
1.	¿Es inferior a 35 ° C la temperatura de emisión de vapores inflamables de los combustibles utilizados?			
2.	¿Se transportan en recipientes cerrados?			
3.	¿Se realiza el almacenamiento y la carga en cámaras incombustibles?			
4.	¿Se encuentra el almacenamiento a una distancia de al menos 5 metros con respecto a toda la galería de arrastre?			
5.	¿Está el lugar de almacenamiento aislado frente al riesgo de incendios?			
6.	¿Están los tanques de almacenaje de diesel protegidos contra daños accidentales?			
7.	¿Existe una zona especial asignada a la carga de combustible de las máquinas?			
8.	¿Tienen las zonas de llenado medios necesarios de lavado y drenaje de aguas?			
9.	¿Se evita que los retornos de aire, de los lugares de llenado, discurran por algún frente en actividad o galería frecuentada?			

**Técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas
en las que se emplea técnica minera en su ejecución**

10.	¿Tienen los tanques o vehículos dispositivos de medida de combustible?			
11.	¿Están montados los bidones y recipientes de aceite sobre bastidores?			
12.	¿Llevan bandejas los bidones y los recipientes para recoger derrames?			
13.	¿Se limpian los derrames frecuentemente mediante agua o arena incombustible?			
14.	¿Se retiran periódicamente estas arenas?			
15.	¿Hay en estas instalaciones un detector de incendios y un sistema de riego automático?			
Combustibles sólidos				
16.	¿Existe una puerta de acero contra incendios a la entrada del almacén de neumáticos?			
17.	¿Se extrae aire del almacén de neumáticos a través de conductos?			
18.	¿Existe un suministro de agua y extintores en el almacén de neumáticos?			
19.	¿Se han instalado cortafuegos en toda la longitud de las tuberías de plástico?			
20.	¿Los cables están tendidos de forma suspendida y distribuida individualmente en bandejas?			
Máquinas móviles				
21.	¿Existe un sistema de seguridad que evite la entrada de las máquinas en zonas con propensión a fuegos?			
Motores diesel				
22.	¿Disponen de un equipo de extinción de incendios?			
23.	¿Tienen máscaras protectoras de CO?			
24.	¿Se evitan tubos de plástico en las rutas utilizadas por los motores diesel?			
25.	¿Tienen sistemas de a bordo o botón de pánico?			
26.	¿Disponen las máquinas eléctricas o diesel de algún sistema de detección de gases cerca o incorporado?			
Bandas Transportadoras				
27.	¿Disponen todas las cintas transportadoras de un sistema de medición de CO incorporado?			
28.	¿Disponen de otro sistema de detección para la prevención de incendios?			
29.	¿Dispone el puesto de mando de cada cinta de un teléfono?			
30.	¿Dispone de EPI el personal que trabaja en la proximidad de las cabezas motrices de las			

**Técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas
en las que se emplea técnica minera en su ejecución**

	cintas?			
31.	¿Los materiales de sostenimiento y revestimiento de la zona donde se encuentre la cinta, son no combustibles?			
32.	¿Existen labores de limpieza del polvo de carbón, y de los aceites y grasas acumuladas en las cintas transportadoras?			
33.	¿Existen sistemas de detección que provocan la parada automática de la máquina frente a cualquier atascamiento de la cinta?			
34.	¿Existen sistemas de corrección de descentrado de la banda?			
35.	¿Se emplean fluidos difícilmente inflamables en las cabezas motrices?			
Equipos eléctricos				
General				
36.	Al final de cada turno, seguido de un periodo de descanso, ¿se corta la corriente de las máquinas y cables móviles?			
37.	¿Se revisan periódicamente los factores de carga para evitar sobrecargas tanto en las máquinas eléctricas como en el sistema eléctrico de la obra?			
38.	¿Se sustituyen los aceites contaminados de los transformadores y disyuntores?			
39.	¿Existe un mantenimiento y limpieza adecuado de los equipos eléctricos y sus alrededores?			
Pozos y galerías de acceso				
40.	¿Se evita el almacenamiento de líquidos inflamables cerca de los pozos?			
41.	¿Se montan los transformadores y cuadros de conmutación con aceite en un compartimento con muro de contención?			
Cable superficial o túneles de tubo en los pozos				
42.	¿Están separados herméticamente del pozo mediante un muro o una puerta cortafuegos?			
43.	¿Existe un tubo respiradero o de drenaje a través de la puerta hermética?			
44.	¿Se ha instalado un sistema de detección y rociado?			
Subestaciones subterráneas sin aceite				
45.	¿Existen dos extintores de clase "C"?			
46.	¿Son de tipo seco los transformadores y cuadros de conmutación?			
Gran subestación sin aceite				

**Técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas
en las que se emplea técnica minera en su ejecución**

47.	¿Tienen la puerta principal y la de acero chapa de acero?			
48.	¿Se cubren con arena los cables?			
49.	¿Existe una abertura en la puerta o pared del lado de escape que permita la ventilación?			
50.	¿Se extrae el aire a través de un tubo a un conducto de aire de retorno?			
51.	¿Existen sistemas de extinción contra incendios?			
Subestaciones con aceite				
52.	En los transformadores con aceite, ¿se colocan dos extintores de clase "C" y dos cubos de arena?			
53.	¿Se ha instalado un punto de agua y una manguera de, al menos, 25 mm de diámetro?			
54.	¿Existe un sistema de rociado?			
55.	¿Se han comprobado de forma trimestral los puntos calientes en los cuadros de conmutación y los transformadores con aceite?			
Pequeños transformadores individuales con aceite				
56.	¿Existe un extintor de clase "C"?			
Estaciones de carga de baterías				
57.	¿Se circula el aire de admisión a un conducto de aire de retorno sin que llegue al lugar de trabajo?			
58.	¿Es impermeable el suelo?			
59.	¿Existe un lavado de suelo periódico?			
60.	¿Existen mangueras y tuberías de 25 mm de diámetro?			
61.	¿El recubrimiento del cuarto se ha hecho con material incombustible?			
Cables				
62.	¿Son ignífugos?			
63.	¿Están suspendidos y protegidos?			
64.	¿Se encuentran limpiamente tendidos y no en haces?			
65.	En caso de haber un gran número, ¿están tendidos en bandejas y existe un cortafuegos a lo largo de los mismos?			
Soldadura y oxicorte				
66.	¿Hay una ventilación adecuada y constante en la zona de trabajo?			
67.	¿Existen labores de limpieza antes y durante la operación?			
68.	¿Existe un plan de vigilancia de las máquinas?			

**Técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas
en las que se emplea técnica minera en su ejecución**

	mientras no se encuentran en uso?			
69.	¿Se almacenan y transportan las botellas en posición vertical?			
70.	¿Están las botellas situadas lejos del foco de calor?			
71.	¿Se trasladan siempre las botellas con el capuchón de protección?			
72.	¿Se asegura la sujeción de las mismas?			
73.	¿Se asegura que las válvulas están cerradas?			
74.	¿Se dispone de un suministro adecuado de agua en la zona?			
75.	En caso de no existir agua, ¿existen extintores?			
76.	¿Se colocan los trabajadores equipos de protección individual durante el desarrollo de estas operaciones?			
77.	¿Dispone el vigilante de un medidor continuo de grisú?			
78.	¿Se interrumpen los trabajos de soldadura y oxicorte cuando la concentración de grisú alcanza el 1,5%?			
79.	¿Se dispone de arenas u otro material combustible para sofocar los incendios?			
80.	Una vez finalizadas las operaciones, ¿se revisa la zona por si existiera algún inicio de foco?			
81.	¿Se vigila la zona después de la operación durante cuatro minutos aproximadamente?			
82.	¿Existen supresores de retroceso de llama?			
83.	Si se realizara la operación sobre un pozo, ¿se coloca un cubo de agua debajo del lugar del corte o soldadura?			
	Explosivos			
84.	Si la labor está clasificada distinta de primera categoría ¿Se utilizan explosivos de seguridad?			
85.	¿Se utilizan materiales homologados?			
86.	¿Se realizada el retacado de una forma correcta?			
87.	En el avance con explosivos, ¿se realiza una ventilación soplante en las proximidades del frente y a caudal mayor de 0,1 m ³ /s por cada metro de sección?			
88.	Una vez producida la detonación, ¿se realiza una correcta ventilación del lugar?			
	Ventilación			
89.	Si el avance se realiza con máquinas de corte, ¿se realiza la ventilación de forma aspirante?			
90.	¿Se conoce a fondo el sistema de ventilación de			

	la obra subterránea en condiciones normales?			
91.	¿Se sabe cuándo modificación del régimen de ventilación frente a un incendio?			
92.	¿Existe un sistema de alarma de cualquier fallo o parada en el funcionamiento del ventilador principal?			
93.	¿Existe un sistema de alarma de cualquier fallo o parada en el funcionamiento de los ventiladores secundarios?			
General				
94.	¿Existe un plan de formación para todos los trabajadores de la obra sobre las medidas preventivas a tomar frente al riesgo de incendio?			
95.	¿Se prohíbe fumar en toda la obra?			
96.	¿Están las chimeneas de ventilación siempre sometidas a una corriente de aire descendente?			
97.	¿Están certificadas todas las máquinas utilizadas en la obra y adecuadas al tipo de ambiente en el que van a funcionar?			
98.	¿Existen sistemas de rociado o "sprinklers" en la obra?			

Evaluación de la severidad del incendio para todo tipo de minas y obras subterráneas:

MEDIDAS DE CONTROL						
				SI	NO	NA
Detectores	1.	¿Hay detectores?				
	2.	¿Se realizan estudios para determinar la posición óptima de los detectores?				
	3.	¿Se evita la colocación de detectores en las intersecciones donde se encuentra la corriente de aire?				
	4.	¿Está vinculado el sistema de vigilancia al sistema de control central en superficie?				
	5.	¿Se encuentra este sistema central combinado con uno de vigilancia de metano y de centralización de producción de datos?				
	6.	Una vez detectado el fuego, ¿se da la señal de forma instantánea?				

		7.	¿Son las lecturas de detectores objeto de análisis estadístico?					
		8.	¿Dispara un fuego la alarma en, al menos, 2 detectores?					
		9.	¿Tienen los detectores niveles de alarma?					
		10.	¿Están basados estos niveles de alarma con datos históricos?					
		11.	¿Es revisada periódicamente la estrategia de instalación de los niveles de alarma?					
		12.	¿Se reducen los niveles de alarma durante los fines de semana o cuando aumenta la producción?					
		13.	¿Se aumentan los niveles cuando las variaciones estacionales llevan a un aumento de CO?					
		14.	¿Se realiza un mantenimiento adecuado de los transductores?					
		15.	¿Se utiliza en las cintas un sensor de ruido térmico?					
		16.	¿Se utiliza cerca de la cabeza motriz de las cintas un detector de productos de combustión?					
		17.	¿Utilizan los equipos diesel detectores de CO y humo?					
		18.	¿Conoce el personal las acciones a tomar en cada caso?					
		19.	¿Conoce el personal el análisis sensorial?					
		20.	¿Se activa el plan de emergencia una vez detectado un fuego a simple vista?					
		21.	¿Se utilizan fusibles o bombillas de brillo para detectar la temperatura?					
		22.	¿Se utilizan los hilos termosensibles para dar alerta y/o accionar los equipos de extinción?					
		Evacuación	Refugios	23.	¿Tienen ventilación directamente de aire "limpio"?			
				24.	¿Se encuentran suficientemente ventilados por las chimeneas de ventilación?			
				25.	¿Se ha reforzado la ventilación mediante un ventilador o fuelle cuando se encuentre en uso el refugio?			

		26.	¿El caudal de ventilación es adecuado en caso de encontrarse el refugio lleno de gente?			
		27.	¿Están indicados los refugios con sirenas y luces intermitentes?			
		28.	¿Están situados los refugios en las rutas de escape?			
		29.	¿Tienen los trabajadores cargas de oxígeno en los autorrescatadores en los refugios?			
		30.	¿Hay un plan de formación para conocer los refugios?			
	Rutas de escape	31.	¿Existen rutas de escape?			
		32.	¿Están bien diseñadas?			
		33.	¿Están marcadas adecuadamente?			
		34.	¿Hay cuerda de salvamento o pantalla para guiar al trabajador hacia el refugio?			
		35.	¿Existe mantenimiento/limpieza?			
		36.	¿Existe un plan de formación para conocer las rutas de escape?			
		37.	¿Existe un procedimiento de mantenimiento? ¿Están libres de objetos que interrumpan el paso?			
		38.	¿Ha recibido el personal la formación adecuada?			
	Autor-rescatador	39.	¿Han pasado los autorrescatadores por un protocolo de ensayo?			
40.		¿Está entrenado el equipo de personas en el uso de los autorrescatadores?				
41.		¿Se realizan inspecciones visuales de integridad y análisis de vacío ocasionales?				
Control		42.	¿Está el personal formado en relación al tipo de extintor a utilizar dependiendo del tipo de fuego?			
		43.	¿Se conocen los focos de incendio?			
		44.	¿Están preparados los agentes extintores adecuados en función de los focos?			
		45.	¿Existe un procedimiento de mantenimiento de las medidas de control preparadas?			

10.2 Otros métodos de evaluación

Existen diferentes métodos de evaluación numérica del riesgo de incendio como son el método de Gretener o el de Gustav-Purt.

El método Gretener sólo es aplicable cuando se han tomado las medidas preventivas mínimas y no hace incidir factores como vías de evacuación suficientes y peligrosas para el contorno del riesgo evaluado, que debe ser solucionado. Es un método diseñado para evaluar el riesgo de incendio en edificios, pero se podría adaptar a una obra subterránea.

Este método se basa en la determinación del “riesgo de incendio efectivo” R , resultado del producto “peligro global” B , por un factor A , o “peligro de activación” (085/1.8):

$$R = A \times B$$

siendo,

$$B = \frac{P}{M}$$

El valor de P representa el “peligro potencial”, producto de todos los factores de peligro y M el producto de todos los factores de protección.

El valor de P y M se calcula mediante las expresiones:

$$P = q \times c \times r \times k \times i \times e \times g$$

donde cada uno de los factores se encuentran tabulados en función de los datos técnicos, *estadísticos* de incendios, experiencias y reglas de protección y prevención:

$$M = N \times S \times F$$

siendo;

N = Medidas normales de protección

S = Medidas especiales de protección

F = Medidas de protección estructural

FACTOR	DENOMINACIÓN DE PELIGROS	ATRIBUCIÓN
Q	Carga térmica mobiliaria	PELIGROS INHERENTES AL CONTENIDO
C	combustibilidad	
r	Formación de humos	
k	Peligro de combustión/toxicidad	
i	Carga térmica inmobiliaria	PELIGROS INHERENTES A LA OBRA
e	Nivel de planta	
g	Amplitud de los cortafuegos	

El método recomienda fijar un valor admisible (R_u) o riesgo de incendio aceptado partiendo de un riesgo normal ($R_n=1,3$) corregido por medio de un factor que tiene en cuenta el mayor o menor peligro para las personas, PH .

$$R_u = R \times PH$$

$$R_n = 1,3$$

siendo;

$PH < 1$ si el peligro para las personas es elevado

$PH = 1$ si el peligro para las personas es normal

$PH > 1$ si el peligro para las personas es bajo

De la comparación entre el riesgo efectivo de incendio R y el riesgo aceptado R_u , podemos deducir si la seguridad contra incendios es o no suficiente:

Si $R_n \leq R_u$, existe seguridad contra incendios suficiente

si $R_n \geq R_u$, existe seguridad contra incendios insuficiente

o bien expresado en función de γ (seguridad contra incendios)

$$\gamma = \frac{R_u}{R_n}$$

Si $\gamma \geq 1$ la seguridad contra incendios es suficiente si las necesidades de seguridad seleccionadas se adaptan a los objetivos de protección

Si $\gamma < 1$ la obra está insuficientemente protegida contra incendios, y habrá que adoptar sistemas de protección adaptados a la carga de incendio.

El método Gustav-Purt presenta el mismo campo de aplicación que el método Gretener, siendo utilizado para la obtención de soluciones orientativas rápidas. Este método parte del hecho de que el fuego se produce en el contenido y en los edificios.

El *riesgo del edificio* (GR) se centra en la posibilidad de la destrucción del inmueble motivada por dos factores fundamentales: intensidad y duración del incendio y resistencia de la construcción.

Para su cálculo se utiliza la expresión:

$$GR = \frac{(Q_m \cdot c + Q) \cdot B \cdot L_i}{W \cdot R_i}$$

Donde;

Q_m = coeficiente de carga térmica del contenido

Q_i = coeficiente de carga térmica del inmueble

B = coeficiente correspondiente a la situación e importancia del sector cortafuego

L = coeficiente correspondiente al tiempo necesario para hincar la extinción

c = coeficiente de combustibilidad

W = coeficiente de resistencia al fuego de la estructura portante

R_i = coeficiente de reducción del fuego

El *riesgo del contenido (IR)* está constituido por los daños personales y materiales ocasionados a personas y cosas que se encuentren en el interior del edificio.

Para su cálculo se utiliza la expresión:

$$IR = H \cdot D \cdot F$$

Donde,

H = coeficiente de daño a personas

D = coeficiente de peligro para los bienes

F = coeficiente de influencia del humo

Los valores de GR e IR, obtenidos, los cuales se encuentran tabulados en tablas, se llevan a un gráfico donde se reflejarán las medidas de detección y extinción más adecuadas al riesgo evaluado, dependiendo de la zona donde se encuentren las rectas $X = IR$ e $Y = GR$.

11 MEDIDAS DE PREVENCIÓN

El método más adecuado de atacar un riesgo es la prevención, es decir, en caso de existir un riesgo de fuego o incendio, lo idóneo es tratarlo mediante el control previo de la posibilidad de ignición, la posterior contención del mismo, si se produjera, y el manejo final del impacto, en caso de no haberse podido evitar la ignición ni la expansión del fuego.

11.1 Autocombustión

- En relación a las galerías de capa

Las galerías abiertas en carbón tienen el riesgo de autocalentamiento y, además, existen en ellas un largo período de exposición al oxígeno de la ventilación.

En estas galerías, los fuegos suelen ocurrir en los techos. Al ir avanzando en estas galerías, debido a las presiones ejercidas por el terreno, el carbón comienza a

desmenuzarse pudiendo provocar la formación de **campanas**. Estas campanas pueden ser un foco de fuego, ya que el carbón está fisurado y la corriente de ventilación puede no llegar a evacuar todo el calor producido por la oxidación de la zona (ver figura 29).

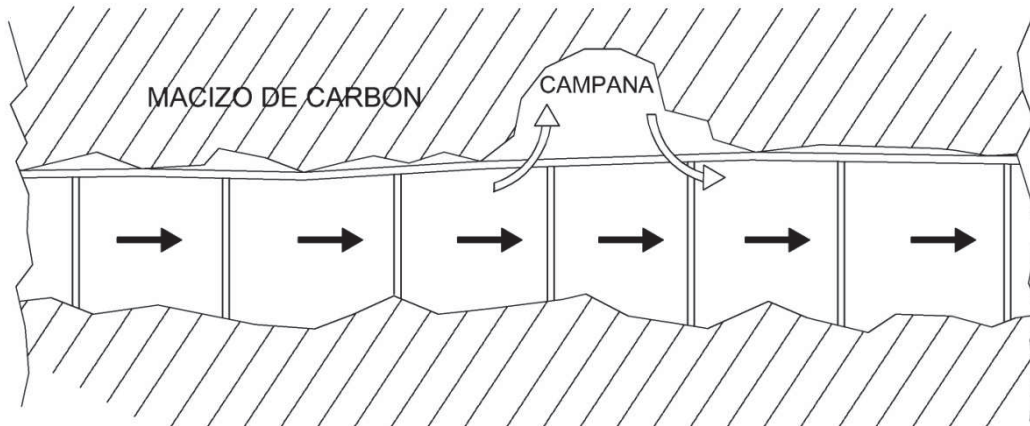


Figura 29. Campanas en galerías de carbón

Las campanas podrían evitarse con un buen sostenimiento que no permita la caída masiva de carbón, o bien mediante la utilización de un material no inflamable que estanque, por ejemplo, espuma.

Además de la formación de campanas, cualquier cambio brusco de sección, como pueden ser las puertas de regulación de ventilación (figura 30) o estrechamiento por presiones del terreno (figura 31), pueden crear **corrientes piratas**. Este hecho puede provocar que parte de la corriente de ventilación penetre en el carbón.

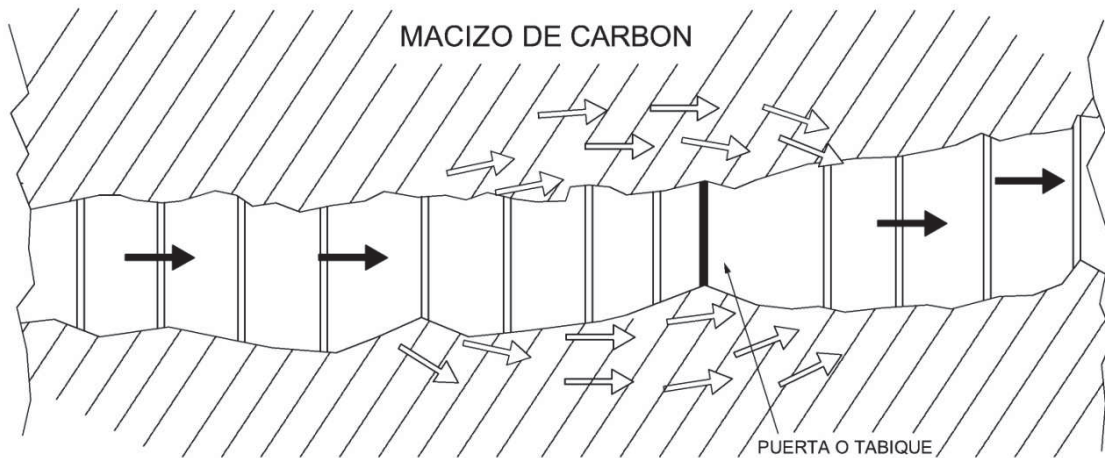


Figura 30. Puertas y tabiques de aislamiento o regulación

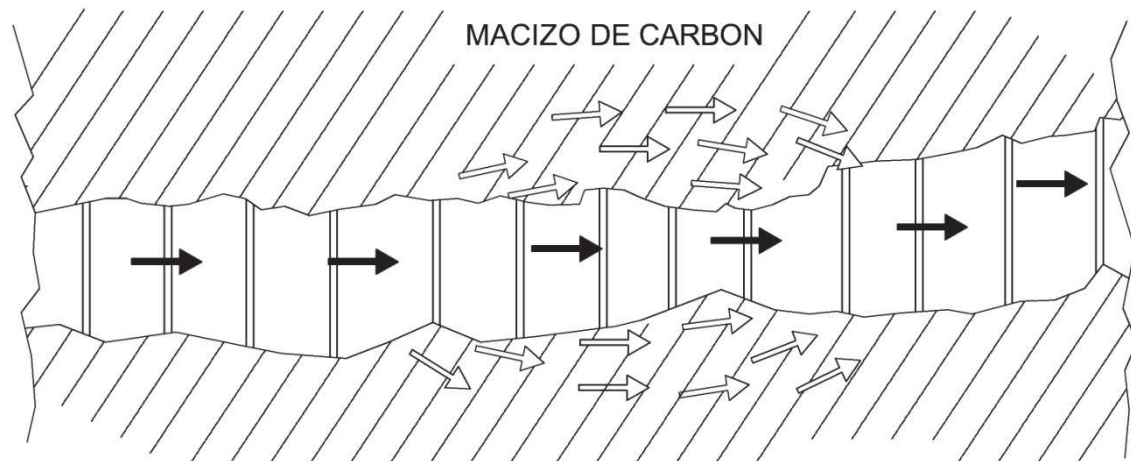


Figura 31. Estrechamientos en capas de carbón

Después de haber franqueado el obstáculo, estas fugas o corrientes piratas se incorporan a la corriente principal debido a la menor presión existente en la corriente principal.

Todos estos incidentes se evitarían gracias a la impermeabilización de las galerías de carbón mediante relleno de materiales de construcción, como puede ser la mezcla de cemento y arena, entre el carbón y el sostenimiento y un posterior gunitado (figura 32).

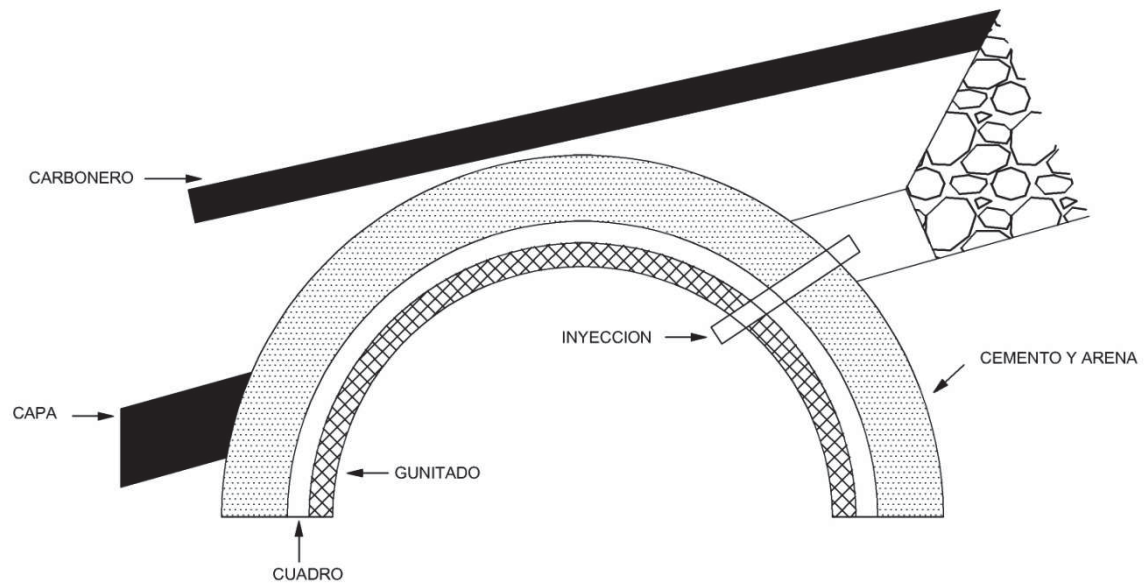


Figura 32. Impermeabilización de las galerías de carbón

De esta manera, se impedirá la entrada de aire, se favorecerá el sostenimiento y no habrá pérdidas de aire de la ventilación.

- En relación al desarrollo de labores

a) Tajos largos:

En el postaller se pueden distinguir tres zonas (figura 33):

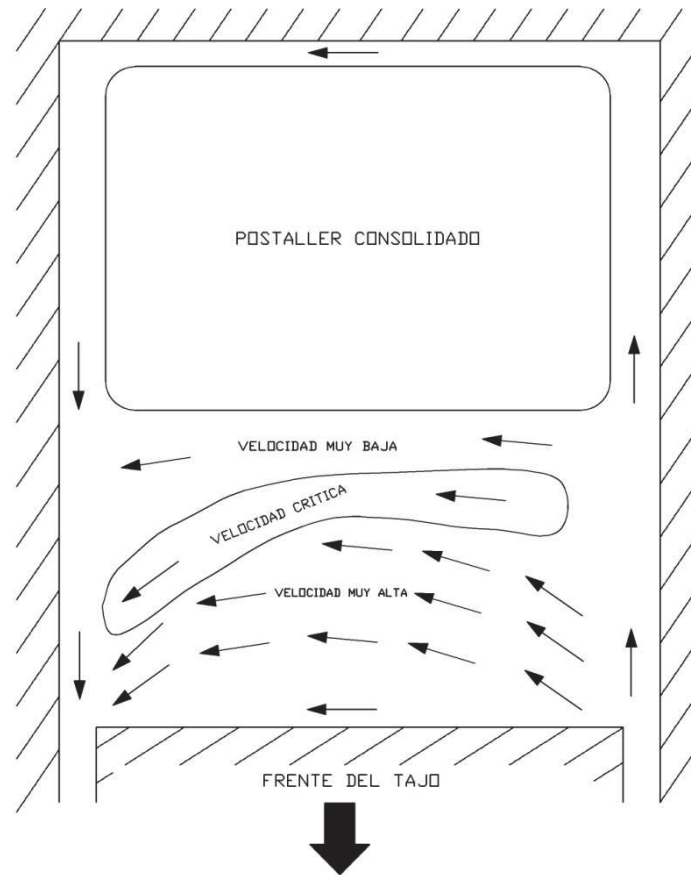


Figura 33. Velocidad del aire en postaller

- 1- La más cercana a la calle de trabajo en la cual la velocidad del aire es suficientemente alta como para disipar el calor producido por la autocombustión.
- 2- Existe una zona interna detrás de la anterior, a la cual se aporta oxígeno para reaccionar con el carbón pero no es suficiente la ventilación como para disipar el calor. Por lo tanto es una zona crítica.
- 3- Por último, existe detrás de esta última una zona en la cual ya está consolidado el hundido y no llega suficiente oxígeno como para reaccionar.

Estas zonas van avanzando según avance el frente.

Es necesaria una velocidad de avance mínima para que no se produzca una combustión espontánea. Si la velocidad de arranque del tajo es baja, la zona crítica se

moverá despacio y puede tener tiempo suficiente para producir una acumulación de calor, produciendo la autocombustión.

Si se hace una larga parada del tajo se deberá tabicar y tomar medidas frecuentes para la detección precoz de combustiones espontáneas.

Los postalleres de los tajos largos son zonas propensas a la aparición de fuegos. Los ingleses han desarrollado un método para controlar el riesgo de combustión espontánea en los tajos explotados en retirada. Este método consiste en la construcción progresiva de tabiques detrás del frente a medida que se avanza en retirada de manera que el aire que entre al postaller sea mínimo.

Las técnicas de control en un tajo largo serían:

- Reducir las diferencias de presión en el postaller.
- Reducir las fugas que entran en el hundido de tabiques.
- Inyectar gases inertes o metano en el postaller y así desplazar el oxígeno.

b) Subniveles con sutiraje:

En este método de explotación existen reglas básicas de prevención cuya puesta en práctica ha resultado eficaz:

1. Realizar las labores de apoyo a la explotación (pozos y recortes) en roca.
2. Mantener los subniveles estrictamente en fondo de saco.
3. Llevar el hundimiento al corte.
4. Emplear ventilación soplante próxima al frente.
5. Evitar las paradas prolongadas de ventilación secundaria.
6. Realizar el trazado del subnivel y la explotación en retirada a la mayor velocidad posible.
7. Tabicar los recortes rápidamente una vez finalizada la explotación del subnivel.

8. Tratamiento de montaduras:

- Para evitar su aparición se puede actuar previamente mediante tratamientos de consolidación de terrenos flojos o trastornados.
- Con posterioridad a su aparición se debe actuar rellenando los huecos con materiales inertes que cierren bien, por ejemplo con espuma.

9. Prever zonas cortafuegos:

Su objetivo es evitar la propagación del fuego por la madera de fortificación. Para ello, según el riesgo propio de cada capa, se revestirá un tramo de 5/10m. con material incombustible (chapa, parrillas / tela metálica o madera tratada con soluciones ignífugas). Además, acondicionar adecuadamente para la posible colocación futura de un tabique provisional (lo que se consigue, por ejemplo, con inyección de antipirógenos en la capa).

10. Inyectar nitrógeno en los subniveles activos durante paradas prolongadas de actividad.

c) Cámaras y pilares:

El calentamiento generado en las secciones de cámaras y pilares comienza invariablemente en lugares accesibles, y no deben llegar a fuegos mayores.

El calor comienza normalmente en pilas de carbón triturado del derrame, caída del techo o del derrumbamiento de los propios pilares. También puede comenzar allí donde el carbón no ha sido minado.

Siempre que sea posible debe evitarse que el carbón sea abandonado, y cuando esto sea inevitable, se requerirá vigilancia de manera que se advierta cualquier indicio de calentamiento. Si dicho calentamiento empezara, debería extraerse de manera que se dejara únicamente el carbón sólido.

Si fuera inevitable el abandono de pilares residuales dentro de la mina, deberán adoptarse las siguientes medidas:

- Inyección de sales higroscópicas, de manera que se forme en su interior una retícula semimineralizada.
- Tratamiento de las superficies de los pilares con sales higroscópicas.
- Impermeabilización de los pilares.

Las pilas de carbón fracturado deben ser extraídas de la mina, y si éstas se dan frecuentemente, la extracción deberá realizarse de forma sistemática.

Las pilas de carbón triturado son especialmente vulnerables debido a su contenido en partículas de distinto tamaño. Las partículas de carbón más pequeñas (≤ 5 mm de diámetro) poseen una gran superficie de oxidación, sin embargo, una pila compuesta sólo por partículas pequeñas de carbón tendría pocos poros y el aire penetraría difícilmente. Por el contrario, una pila de carbón de gran tamaño proporciona un fácil acceso al aire, de manera que el aumento de temperatura sería inhibido. Una pila de tamaños mixtos contiene suficiente carbón de pequeño tamaño como para presentar una gran superficie, y suficientes partículas grandes como para crear poros por donde puede pasar el aire.

Ya que una pila de carbón no puede extraerse o ser retirada, debe alejarse a mayores profundidades para evitar la creación de corrientes o chimeneas de convección de aire caliente en puntos altos.

d) Avance y retirada:

El avance en el frente tiene un problema particular, ya que hay una diferencia de presión a través del relleno con desechos, la cual proporciona una corriente de salida (figura 34).

Esta corriente tiene la capacidad de causar una combustión espontánea, y deben tomarse medidas de sellado especiales de forma que sea minimizada.

El frente de retirada de una cámara rellena de desechos puede o no tomar una diferencia de presión a través de ella.

En términos generales, el método de avance y retirada, y especialmente la retirada, es más favorable que el método de cámaras y pilares, ya que los circuitos de ventilación son más fáciles y simples de controlar, y las corrientes piratas son menos probables.

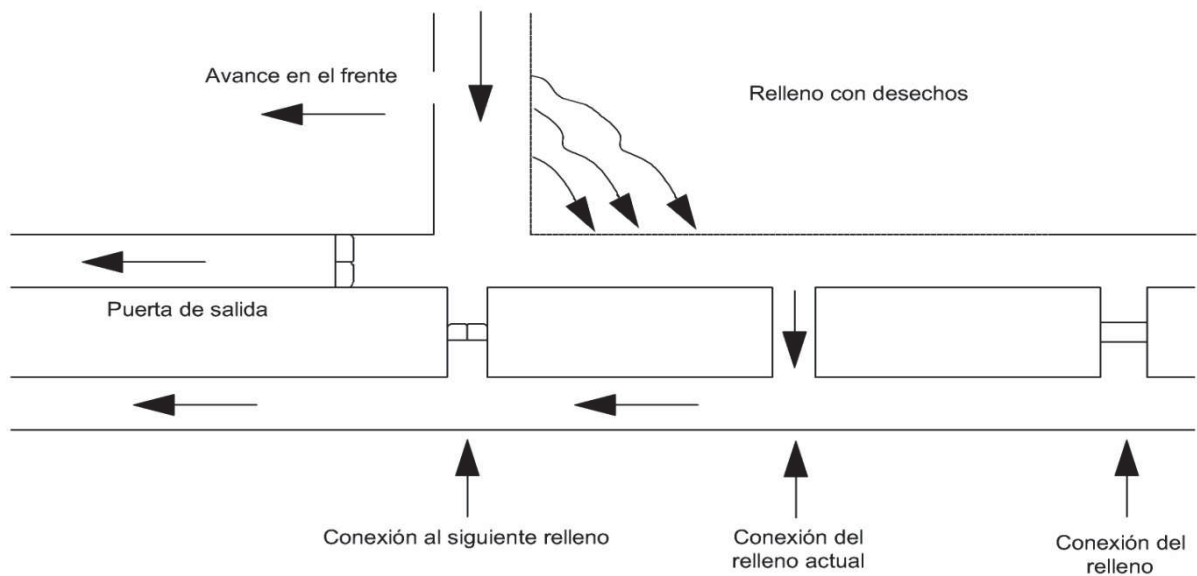


Figura 34. Método de avance y retirada

e) Zonas minadas:

Si una zona contiene carbón sin minar, o bien debe ventilarse completamente o bien debe ser sellada. Si queda medio ventilada puede dar lugar a una combustión espontánea, por no mencionar cúmulos de mezclas de gas explosivas.

La mejor práctica para las zonas minadas es el sellado rápido y eficiente en aquellos lugares donde se generan grietas o fisuras.

Las zonas abandonadas se deberían sellar. Un mínimo paso de aire a través de minados antiguos puede dar lugar a condiciones óptimas para el calentamiento espontáneo. Al ser muy difícil mantener una corriente de aire adecuada para liberar el calor en estas zonas, la medida a adoptar es su sellado (ver anexos E y F).

- En relación a la ventilación

Las fugas son debidas a la diferencia de presión entre las entradas y los retornos de aire. Estas fugas deben disminuirse reduciendo la diferencia de presión mediante el desarrollo de un adecuado número de galerías de ventilación con secciones suficientemente grandes.

Las fugas pueden controlarse con una buena ejecución en la construcción de dispositivos de control de aire tales como tabiques y puertas. Las fugas producidas en los alrededores de los cierres pueden ser parcialmente controlados si se selecciona bien su localización y no están sometidas bajo grandes presiones del terreno (ver figura 35).



Figura 35. Revestimiento con resinas para la eliminación de fugas

Un tabique que proporciona una resistencia excelente a las fugas consiste en 2 paredes separadas formadas por bloques sólidos de hormigón y el espacio entre ambas se rellena con polvo de roca. Los tabiques de madera, que han sido comprimidos por las tensiones del terreno, son los más efectivos para eliminar fugas. Este prensado de los tabiques cierra los huecos existentes entre los bloques.

Un equilibrio de presiones en los tabiques es una técnica utilizada para reducir fugas, y por lo tanto reducir el riesgo de combustión espontánea (ver anexo E).

La realización de un equilibrio presiones en los tabiques requiere una completa compresión del circuito de ventilación. Es algo muy complejo pero se ha reconocido como una herramienta importante para reducir las corrientes piratas.

Otro sistema es un barrido con metano o con nitrógeno por el postaller de tajo largo para controlar la oxidación. La mezcla de metano-aire debe ser tal que no haya posibilidad de formar una mezcla explosiva.

Según investigadores rusos, una velocidad del aire comprendida entre 0,1 y 0,9 m/s con contenido en oxígeno mayor de 17 % es la zona de riesgo de ventilación.

Medición de fugas a través de los tabiques:

Para la medición de fugas que se producen a través de los tabiques que pueden alimentar el proceso de combustión detrás del tabique, se puede hacer mediante el siguiente método (figura 36);

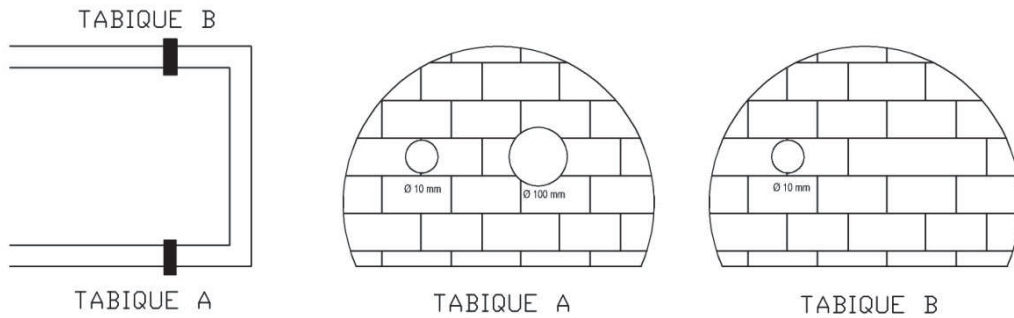


Figura 36. Medición de fugas en tabiques.

En un tajo largo que está tabicado por los dos extremos A y B, se coloca un tubo de 100 mm de diámetro y otro de 10 a 20 mm en el extremo A; y en el extremo B se coloca uno de 10 a 20 mm de diámetro.

A través de los tubos más pequeños se miden las depresiones del tabique A y B dando los resultados h_A y h_B . Después se cierran estos tubos y se abre el tubo más grande instalado en el tabique A y se mide la depresión y las velocidad del aire dando como resultado h_A' y V . La depresión h_B' se calcula por diferencia ya que:

$$h_A + h_B = h_A' + h_B'$$

$$h_B' = h_B + h_A - h_A'$$

Siendo S la sección del tubo de 180 mm de diámetro que es $0,031 \text{ m}^2$ y V la velocidad en esa tubería, el caudal que pasa a través del tajo cuando se supone sellado es:

$$Q_f = S \times V \times \frac{\sqrt{a \times b}}{\sqrt{a} - \sqrt{b}}$$

$$a = \frac{h_A}{h_A'}; b = \frac{h_B}{h_B'}$$

El control de fugas y aplicación del equilibrio de presiones en tabiques:

Las fugas de un tabique dependen de la permeabilidad y de la diferencia de presiones entre ambos lados del tabique. No se pueden confiar que un tabique sea totalmente

impermeable. Lo que se debe conseguir es que exista una pequeña diferencia de presiones o que no la haya.

Si se aumenta la presión de retorno del tabique o se disminuye a la entrada del tabique, se previene la entrada de corrientes piratas en la zona tabicada. Esta zona puede verse afectada por variaciones de presión del aire mediante dos maneras diferentes.

La primera es debida a la presión barométrica en la superficie de la mina. Estas variaciones son iguales para todos los puntos que se encuentran dentro de la zona tabicada. El efecto de la ventilación de presión atmosférica es la alteración de las diferencias de presión en el interior de la zona tabicada, de manera que existe una corriente de aire dentro del tabique.

La segunda es clase de variación es la variación de diferencias de presión en la ventilación de la mina. Estas variaciones no afectan por igual a los puntos límites de la zona tabicada y por lo tanto tiende a trastornar el equilibrio de presiones.

La diferencia de presión en la ventilación entre dos puntos en una galería depende del caudal y de la resistencia en la galería. Existen variaciones sustanciales de estos dos factores en la ventilación de la mina por lo que causan redistribuciones en el sistema.

Las fugas a través de un material poroso como un tabique o postaller con relleno son directamente proporcionales a la diferencia de presión entre los dos lados, y no es proporcional a la raíz cuadrada de la presión. Por eso, resulta evidente la importancia de la reducción de la diferencia de presión al mínimo.

Cuando se colocan los tabiques, se deberían ajustar al máximo las diferencias de presión mediante la colocación de puertas delante de aquellos. Los tres factores que tienen influencia en las corrientes piratas a través de los tabiques son:

1. Resistencia de cada tabique
2. El número de tabiques en paralelo
3. La presión de cada tabique

Las fugas pueden ser nulas, aumentando la resistencia de a cada tabique a infinito o reduciendo la presión a cero de cada uno de ellos.

Cuando una zona se tabica, pueden existir fugas debido a la diferencia de presión entre un tabique y otro paralelo en un sistema de explotación por subniveles. Estas fugas pueden demorar la extinción final de un fuego y en el caso e una combustión espontánea el proceso de oxidación puede seguir casi indefinidamente.

Los pasos que hay que seguir para el equilibrio de las presiones son los siguientes:

- a) En este caso (figura 37) la diferencia de presión entre A y B es la diferencia de presión entre la entrada y las salida de ventilación.

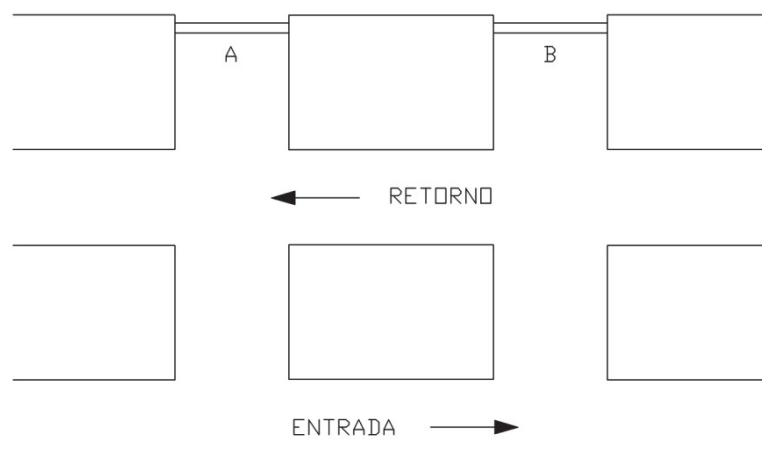


Figura 37.

- b) En este caso (figura 38), la diferencia de presión es mucho menor y aproximadamente igual a la pérdida de presión en la galería entre B y A.

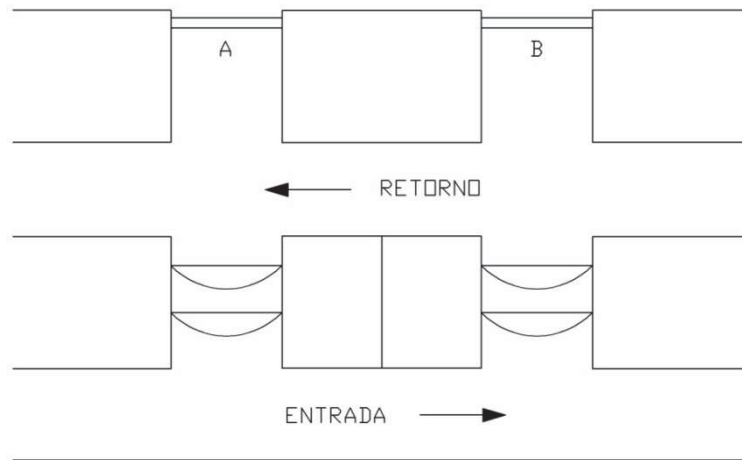


Figura 38.

- c) En este caso se ha reducido más la diferencia de presión entre A y B mediante la construcción de 2 tabiques más la conexión de ambas cámaras. Eso tiende a equilibrar la presión entre las cámaras. Si fuese necesario se puede aumentar o disminuir la presión de una cámara mediante aire comprimido, ventilación auxiliar o mediante la depresión del ventilador principal (figura 39).

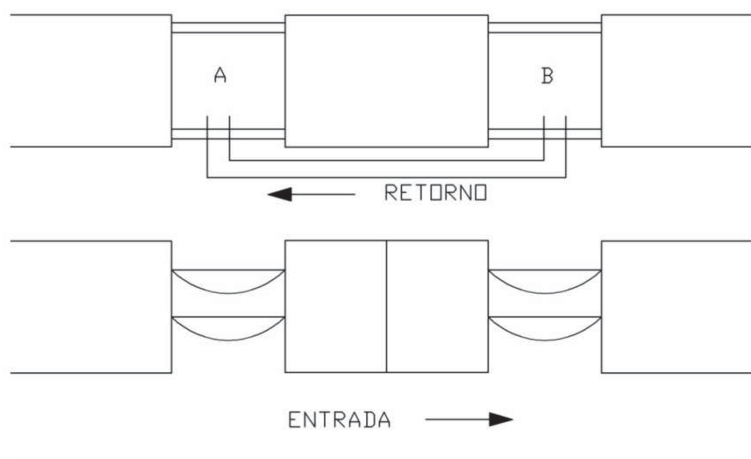


Figura 39.

En capas propensas a la autocombustión, es preferible la aspiración en la cámara de equilibrio de la entrada de ventilación que inyectar aire en la cámara de equilibrio de

retorno. En las labores inclinadas hay que tener en cuenta el efecto del metano, CO₂ y la temperatura sobre la presión detrás del tabique.

Gases trazadores para localizar corrientes piratas

En cualquier explotación se debería conocer con precisión la ventilación. A menudo sucede que los planos de ventilación están realizados de forma poco precisa borrando los postalleres para que el circuito de ventilación sea más sencillo. Por esto, hay veces que existen diferencias considerables en la ventilación real y la calculada. El aire no pasa solamente por galerías y talleres en actividad. Los macizos entre galerías, antiguos tabiques, etc. no son impermeables. Por ejemplo, un macizo de 15 a 20 m que se ha dejado entre dos talleres puede ser eficaz en una capa estrecha, pero no sirve para nada en una capa potente.

La mejor manera de conocer los circuitos de ventilación, es usar la técnica de los gases trazadores, como es el hexafluoruro de azufre (SF₆), y con esta técnica, se podrán conocer las conexiones entre las distintas zonas.

La aplicación del hexafluoruro de azufre (SF₆) sirve para la determinación del caudal que atraviesa un hundido que se encuentra tabicado, y permite conocer todas las conexiones de esta zona que están ventiladas con otros hundidos con una zona de fuego e incluso con una zona superficial.

Por lo tanto, la detección de conexiones de las corrientes permite la aplicación de procedimientos que pueden eliminar fugas a través de las zonas con fuegos y acelerar las operaciones que lleven al apagado de esos fuegos. También sirven para limitar o eliminar el riesgo de la combustión espontánea. El método de la determinación de las fugas está basado en que las fugas que atraviesan las zonas conflictivas pueden llevar con ellas aire con un gas trazador.

Mediante la aplicación de cierta cantidad de gas trazador en la zona de entrada de aire en el hundido, tomando muestras de aire en el retorno, se comprueba la presencia de

este gas en la salida. Así se confirmaría la existencia de fugas a través del hundido o de la zona de fuego.

La secuencia de operaciones para la determinación de la fugas mediante gas trazador comienza con el análisis del hundido que se pretende estudiar, determinado las posibles conexiones de esta zona con distintas zonas de las mina o con la superficie. Para ello se ha de elaborar un diagrama de presiones de las zonas adyacentes ya que se puede determinar aproximadamente el volumen del hundido.

Después de esto, se inyecta el gas trazador y se toman muestras de la mezcla de aire-gas trazador en el retorno y se determina la concentración de gas en cada muestra.

Por último, se interpretan los resultados y se indican las posibles rutas y el caudal de las fugas. Al conocer estos datos se puede elaborar un plan para la prevención o la supresión de un fuego oculto.

En relación con los factores geológicos

Las medidas preventivas sobre los factores geológicos pueden ser las siguientes:

- La extracción debería ser total para no dejar carbón en el hundido que favorezca la autocombustión, para ello han de utilizarse máquinas que puedan hacer un arranque de la capa en toda su potencia.
- En capas con hastiales fuertes y por ello no deleznales el hundido debería rellenarse, ya que al forzar el hundimiento mediante explosivos, el postaller sería ocupado con material con granulometría demasiado grande. Debido al tamaño de esta granulometría, no quedaría estanca la zona explotada con el peligro de aporte de oxígeno debido a las posibles corrientes piratas.
- Si existe un carbonero a techo de la capa que se está explotando, el relleno del postaller serviría también como sostenimiento. Este sostenimiento impediría la irrupción de carbón del carbonero en el postaller.
- Si existen anomalías geológicas, como fallas, estas zonas deberían impermeabilizarse empleando productos de relleno finos y de tamaño

uniforme para evitar la posible reacción del carbón presente que tiene la granulometría fina y por ello propenso a la autocombustión.

11.2 Gases inflamables en minas de carbón

Cuando se produce metano, aunque sea en pequeña cantidad, deja el estrato en un estado prácticamente puro.

Posteriormente se diluye el gas inflamable por ventilación a una concentración muy baja y de ello se deriva que entre el punto de emisión y el punto de dilución final, siempre pasa por la gama explosiva nominal del 5 al 15 % en el aire.

El control de gas inflamable para prevenir igniciones está totalmente relacionado con el control de la posición y el alcance de esta banda explosiva, y los agentes más efectivos en este control son la velocidad y la turbulencia del aire al lado del punto o puntos de emisión. Según la ITC 05.0.03, sobre ventilación y desagüe, en minas de carbón con grisú u otros gases inflamables, se instalará un grisúmetro de lectura automática en lugar próximo al frente de la labor, de manera que si el contenido en este gas supera un valor prefijado se produzca la desconexión de las máquinas que trabajan en el frente y del ventilador soplante.

Las igniciones de gas inflamable, en la actualidad, rara vez se deben al fallo en el suministro de suficiente ventilación para diluir el gas hasta debajo de los límites inferiores de inflamabilidad, sino por la velocidad y turbulencia inadecuada del aire en el punto de emisión.

La concentración legal de metano en el aire, según la ITC 05.0.02, como el principal gas inflamable en una mina de carbón, es de 0,80% en los retornos de aire principales, y de 1,5% en las restantes labores de una mina, salvo en los retornos de los talleres electrificados que será 1%.

Sin embargo, cuando exista un control automático permanente de grisú, la autoridad minera competente podrá aumentar estos límites a los siguientes: 1% en los retornos de aire principales y 1,5% en los talleres electrificados.

Cuando en alguna labor se sobrepasen los contenidos anteriores, se detendrán los trabajos y se observará la tendencia de esta acumulación. Si el contenido sobrepasa el 2,5%, la labor será abandonada por el personal.

La corriente general de salida, llamada comúnmente “corriente de retorno”, no contendrá más de 0,5% de anhídrido carbónico.

Los frentes inaccesibles son, por definición, zonas de relleno con desechos y frentes sellados y, por implicación, lugares como el corte y la zona de corte de rozadoras continuas y cizalladoras de frente largo. Por este motivo, con el fin de desarrollar las medidas preventivas correspondientes, deben tratarse especialmente y de forma diferente a los frentes accesibles.

- Frentes accesibles

Un sistema de ventilación bien planificado y bien manejado es el componente individual más importante en la estrategia de control de gas inflamable y para prevenir acumulaciones. A pesar del límite máximo especificado del 1,5% de gas inflamable en el cuerpo general del aire, el sistema tiene que planificarse con un límite muy inferior en la práctica, de forma que el límite especificado sólo se alcanzaría en el caso de una disrupción grave del sistema. Una vez puesto en funcionamiento el sistema con una capacidad adecuada del ventilador y una buena red de conductos de aire, es vital realizar comprobaciones frecuentes del caudal y la distribución del aire.

Es esencial reducir al mínimo fugas y obstrucciones de los conductos de aire, tanto por razones económicas como de seguridad. Los planes de explotación minera a corto y largo plazo han de incluir planes de ventilación detallados. En particular, hay que prever la ventilación total de secciones de repuesto de forma que, si una sección se para

temporalmente, por ejemplo por avería, pueda ventilarse completamente además de su sección de recambio. El cambio de ventilación de una sección explotada a su sección de recambio ha de planificarse con detalle, ya que el sistema es muy vulnerable a acumulaciones de gas inflamable en el momento de estos cambios. De esto existe amplia evidencia estadística. Es extremadamente peligroso que una sección esté ventilada a medias en cualquier momento.

Las normas proporcionan un marco para la prevención de incendios e igniciones por gas inflamable, que puede considerarse como requisito mínimo. Las pruebas de gas inflamable prescritas se reducen generalmente a lugares donde hay personal trabajando y donde se realizan operaciones mineras.

Además, no hay que perder de vista la situación de gas inflamable en toda la mina, tomando lecturas de gas inflamable en todo el sistema de conductos de aire de retorno, ya que un aumento del nivel de gas inflamable en un conducto de aire de retorno podría ser un signo de que se está produciendo un cambio significativo en los frentes 'activos' o en una zona en explotación.



Figura 40. Metanómetro portátil que genera alarma óptica o visual

- Frentes inaccesibles

a) Frentes sellados

Los sellados para *cerrar* frentes en desuso deben diseñarse para evitar fugas y controlar el paso de gases, y que el exterior de dichos sellados debe estar ventilado y accesible para inspección (figura 41). Las secciones no minadas que estén simplemente valladas para impedir el acceso humano han de estar ventiladas al mismo nivel que los frentes "activos".



Figura 41. Cabeza de plano de una explotación por subniveles (parte izquierda) y tabicado de un nivel ya explotado (derecha)

Si se acumula gas inflamable en una zona sellada, es importante que la franja explosiva esté fuera de los sellos y no dentro, de forma que el sistema de ventilación pueda disiparla. Sería una buena práctica instalar tubos de muestreo al menos a través de uno de los sellos para medir la acumulación normal de gas tras el sellado. Esto proporcionaría información valiosa que podría utilizarse para interpretar anomalías que podrían producirse cuando se sella una sección en la misma parte de la mina para controlar un incendio.

Como parte de este procedimiento rutinario de sellado, todos los pozos de sondeo superficiales que cruzan la zona sellada deben bloquearse y quitarse los revestimientos de los mismos. Antes del sellado final, todas las galerías próximas a los sellos deben limpiarse a fondo de piedras.

Sin perjuicio de lo robustos que sean los sellos (incluso si son a prueba de explosión, ver anexo H), una sección sellada "respirará" en ambos sentidos bajo la influencia de las fluctuaciones de la presión barométrica.

Por esta razón, el exterior de los sellos debe estar contiguo al sistema de conductos de aire de retorno. Esto es particularmente importante cuando una sección de trabajo

discurre a lo largo de una sección sellada. Debe dejarse un pilar de barrera importante entre las dos.

(Ver anexos E, F y G)

b) Relleno con desechos (parte ya explotada)

Tajo largo

Hay que suponer siempre que hay gas inflamable en la parte ya explotada de un frente de tajo largo y, generalmente, es más fácil hacerle frente cuando se practica minería de vanguardia, ya que el gas se purga de forma natural y "medible" en el sistema de conductos de aire de retorno y, si fuera necesario, es más fácil de aplicar el drenaje de metano. El principio de referencia para hacer frente a gas inflamable es que la franja explosiva no debe estar cerca de probables fuentes de ignición. Hay que suponer que hay más fuentes de ignición cerca del frente que en la parte ya explotada en sí y, por consiguiente, la franja explosiva debe estar a cierta distancia detrás del frente. Las fuentes de ignición más frecuentes en la parte ya explotada serían la fricción entre rocas y posiblemente las descargas eléctricas a través de pozos de sondeo a la superficie. Esta última fuente de ignición debe eliminarse sellando los pozos de sondeo y quitando sus revestimientos.

El riesgo de encendido por fricción, posiblemente podría valorarse sobre la base del tipo de roca. La presencia de roca cuarcítica en los estratos de encima de la capa tendería a aumentar el riesgo. La presencia de capas de carbón encima o debajo de la capa en explotación también empeoraría las cosas, ya que la parte ya explotada tendría entonces su propia fuente de gas inflamable, además del gas que hubiera migrado al interior de la parte ya explotada desde la veta en explotación. También es muy importante un control eficaz del techo, con derrumbamiento periódico y sistemático. Si la parte ya explotada "cuelga" y el derrumbamiento es espasmódico, existe mayor posibilidad de que el desarrollo de huecos abiertos en los que se puede acumular gas inflamable sean

expulsados cuando se produzca el derrumbamiento. Los modernos sistemas de soporte del techo de tajos largos son generalmente eficaces.

Como siempre, la esencia de un buen control del gas inflamable es una buena ventilación, con velocidades del frente lo bastante altas para que algo de aire pase, si hay espacio, por la parte posterior de los soportes del frente, tendiendo a hacer retroceder la franja explosiva. Sin embargo, en el extremo de admisión del frente, el aire debe controlarse de forma que no se deslice dentro de la parte ya explotada a expensas del frente de trabajo.

Si es posible, deben realizarse pruebas de gas inflamable detrás de los soportes del frente, con un metanómetro y una sonda. La opción de utilizar un sistema de purgado de gas a través de la parte ya explotada, hasta una conexión de retorno cerca del punto de arranque del frente, es buena siempre que el flujo que pasa por el sistema esté siempre totalmente controlado y siempre que no existe riesgo apreciable de combustión espontánea. El grado de control necesario es a menudo difícil de alcanzar.

A falta de un sistema de purgado de gas, el gas que haya en la parte ya explotada tenderá a migrar hacia el punto de menor presión de ventilación, es decir, el extremo de retorno del frente. Como esta zona puede tener gran actividad energética, es necesario dirigir el gas hacia fuera del frente. Si se utiliza un sistema localizado de purgado de gas, la "conexión de la parte ya explotada actual" se convertirá en el punto de menor presión. El gas de la parte ya explotada y algo del aire del frente, fluirá a ese punto. El sistema que se pretende, es uno en el que haya un generoso flujo de ventilación a lo largo del frente, con un flujo por detrás de los soportes (a menos que la parte ya explotada se derrumbe inmediatamente encima de los soportes) y un sistema de purga de gas localizado en el extremo de retorno del frente, combinado con un buen sistema de control del techo que impida la formación de cavidades continuas en la parte ya explotada. Dicho sistema no debe dar lecturas de gas inflamable superiores al 1,5% dentro de la longitud de una sonda de la fila trasera de soportes y no debe existir posibilidad de que una ignición en el frente se transmita a la parte ya explotada.

Una vez establecido ese sistema, sería prudente vigilar continuamente la distribución del flujo de aire, particularmente en el sistema localizado de purga de gas y el contenido de gas inflamable en los extremos de admisión y retorno del frente. También debe vigilarse el monóxido de carbono.

Extracción de pilares (pilar de seguridad)

La situación de explotación en secciones de extracción de pilares cambia con mucha más rapidez que en secciones de tajo largo, por lo que se le exige más al sistema de ventilación para hacer frente a los cambios en la explotación. Mientras que la división de los pilares exige un sistema de ventilación auxiliar con ventiladores y conductos, también han de preverse medios para dirigir el aire a lo largo del borde de la parte ya explotada, lo que a menudo significa establecer un circuito alrededor de los pilares que se están dividiendo o se van a dividir, según el trazado.

Probablemente es más fácil de establecer un sistema de purga de gas en la explotación de pilares de seguridad que en la de tajo largo, ya que las zonas de extracción de pilares generalmente están rodeadas de tajos con pilares. Queda todavía la cuestión del control y es vital la vigilancia continua del aire que sale del sistema de purga de gas, primero como una indicación de que el sistema funciona satisfactoriamente, aunque también para detectar signos de combustión espontánea lo antes posible. Si ocurriera esto, habría que realizar una nueva valoración de la situación y puede que haya que cambiar, o incluso abandonar el sistema de purga de gas, quizás combinado con la inyección de nitrógeno en la parte ya explotada. Como alternativa, aumentar el flujo en el recorrido del purgador de gas podría enfriar el calentamiento.

c) Otros lugares inaccesibles

Como se ha hecho distinción y se aplican criterios diferentes a las explotaciones accesibles e inaccesibles en relación a la prevención, es lógico suponer que lugares como la zona de corte del cortador, la rozadora o la cizalla de tajo largo, pueden tratarse igual que otros lugares inaccesibles.

Las igniciones en la zona de corte se deben invariablemente a fricción y las principales precauciones deben tender a prevenirlas. En algunos países se está intentando clasificar las explotaciones en cuanto a grado de riesgo de igniciones por fricción. La clasificación se hace en términos de los estratos a cortar, reconociendo las rocas cuarcíticas y piritas como minerales de alto riesgo. Donde están presentes, se imponen normas de ventilación más estrictas.

Máquinas de corte convencionales

Hay muchos casos registrados de ignición de gas inflamable en el corte, generalmente debido a fricción causada por los picas del cortador al golpear piritas u otro material similar. La mejor forma de prevenir estos casos es asegurarse de que se utilizan picas del órgano de corte del mejor diseño y que se cambian a intervalos adecuados antes de que se pongan romos. Puede aplicarse agua para reducir la producción de polvo y templar cualquier ignición que se produzca, y esto, combinado con el uso del pico adecuado, debe proporcionar toda la protección necesaria. Sin embargo, hay que ser diligente para asegurarse de que se toman estas medidas debidamente. A veces se hacen sugerencias para ventilar el corte y, en efecto, la acción de la cadena de corte arrastrará en sí algo de aire y lo llevará a la zona en cuestión. Sin embargo, los intentos de ventilar el corte podrían empeorar más las cosas en lugar de mejorarlas al diluir una mezcla rica de gas inflamable no explosivo y convertirla en una mezcla explosiva.

Las rozadoras continuas cortan carbón a un ritmo muy alto y se desprenden grandes cantidades de polvo e incluso en capas con un contenido relativamente bajo de metano in situ, la liberación de metano también es alta.

Esto forma una mezcla híbrida muy potente. Ningún sistema de ventilación del lugar de trabajo puede garantizar proporcionar suficiente ventilación a la zona de corte para diluir estas mezclas y son necesario sistemas de ventilación de a bordo. Estos sistemas, normalmente está diseñados principalmente para reducir los niveles de polvo inhalable en el lugar de trabajo, e incorporan invariablemente colectores de polvo.

Los componentes principales de los sistemas de ventilación de a bordo pueden ser aparatos para mover el aire accionados por aire o por agua, ventiladores hidráulicos o pulverizadores de agua.

El sistema de ventilación del lugar de trabajo ha de diseñarse para suministrar suficiente aire para impedir acumulaciones de gas inflamable y proteger al operador contra altas concentraciones de polvo. Un sistema de forzado es eficaz para disipar gases pero el operador sólo puede estar adecuadamente protegido contra concentraciones de polvo si el sistema de recogida de la máquina es muy eficiente. Un sistema de escape tendría que inducir una velocidad de flujo de admisión de al menos 0,5 m/s para impedir que el polvo "vuelva a girar" hacia el operador.

El sistema que se pretende es aquél en el que hay una adecuada ventilación del lugar de trabajo y un sistema de a bordo que induce el flujo, preferiblemente utilizando agua, a la zona de corte y a través de la máquina. El flujo inducido por los sistemas de a bordo debe ir en una dirección que aumente la ventilación del lugar de trabajo principal. Si el aire entra en la zona en explotación por la derecha y sale por la izquierda, el flujo inducido por el sistema de a bordo debe ser de derecha a izquierda.

El sistema de a bordo debe estar funcionando antes de que la máquina empiece a cortar, particularmente si se ha iniciado un corte y la máquina se ha retirado y está volviendo a avanzar para terminar el corte. En estas circunstancias se ha creado una "bolsa" que puede llenarse de gas inflamable y este gas tiene que dispersarse antes de que vuelva a comenzar el corte.

Si se interrumpe la ventilación del lugar de trabajo o si el sistema de a bordo no funciona bien (o no funciona), puede desarrollarse rápidamente una situación peligrosa si continúa el corte. Por consiguiente, el corte debe pararse en cuanto se produzca una interrupción por la razón que sea. El corte debe parar también si la emisión de gas inflamable aumenta anormalmente, superando a un sistema de ventilación que en circunstancias normales es satisfactorio. El nivel de gas inflamable en el lugar de trabajo se puede vigilar con los instrumentos de medida de gas inflamable y dispositivos de aviso establecidos.

La concentración de gas inflamable en la zona de corte debe vigilarse continuamente y dar la alarma si la concentración supera una cifra predeterminada o, preferiblemente, pararse la máquina automáticamente. Sin embargo, existen dificultades prácticas para conseguir que los sensores funcionen en un ambiente tan hostil. Una respuesta puede ser tomar una muestra continua de la zona de corte y vigilar la concentración de gas en la muestra. Si se adopta este sistema, hay que tener cuidado en el ajuste de la alarma o nivel de desconexión, ya que, cuando se ha producido el mezclado completo, la concentración en el punto de la muestra puede ser algo inferior a la concentración en la zona de corte, donde la mezcla no es completa. El nivel de alarma o desconexión tendría que ajustarse en el lado bajo.

Otra opción sería vigilar algún otro parámetro, como el flujo de aire o la presión de agua. Este último es de la mayor importancia, ya que el agua puede desempeñar varios papeles vitales, como inducir el flujo de aire, suprimir el polvo, enfriar las picas y, como sustancia no inflamable, evitar las igniciones (figura 42).



Figura 42. Inyección de agua en las picas de un minador

Debe revisarse el diseño de la pica, ya que las modificaciones de diseño en el pasado han tenido cierto éxito en la reducción de las igniciones por fricción (figura 43).



Figura 43. Mantenimiento de picas de una rozadora

El agua debe aplicarse en forma de spray en lugar de chorro y dirigirse detrás de la pica y no encima de la misma.

Rozadoras de tajo largo

Existen tambores cizalladores de varios diseños, normalmente con sistemas de ventilación con flujo de aire inducido por presión de agua. En la zona de corte hay un flujo de aire y agua pulverizada importante y mientras los sistemas trabajen cuando se está realizando el corte, es poco probable que se produzca una ignición por fricción debido al corte.

Comentario final sobre la elección del sistema de ventilación

Existen dos sistemas de ventilación:

- El sistema de extracción: aquel en el que el ventilador principal está situado encima del pozo vertical o inclinado y el aire se insufla en la mina de la atmósfera. Este es el sistema correcto a utilizar porque se crea una presión negativa en toda la mina, es decir, la presión en la mina es inferior a la que habría en la situación "sin flujo". Una parada del ventilador causaría un aumento de la presión y la consiguiente reducción temporal de la emisión de gas (aunque provocaría un aumento temporal de la emisión de gas al volver a arrancar el ventilador).
- El sistema opuesto: en el que el ventilador principal presuriza el pozo de ventilación con el pozo vertical abierto a la atmósfera. No es desconocido en minería, aunque no debe utilizarse en minas grisuosas. Con este sistema, la presión en la mina es superior a la que existiría en la situación "sin flujo". En este caso, una parada del ventilador produciría un descenso de la presión en la mina. El consiguiente corte de la ventilación coincidiría por tanto con un aumento temporal de la emisión de gas, haciendo a la mina y a los que están en su interior, muy vulnerables debido al mayor riesgo de incidentes con gas nocivo o inflamable.

11.3 Combustibles líquidos

Estos materiales tienen temperaturas de inflamación comparativamente bajas:

Parafina: 308 K

Aceite diesel : 343 K

Aceite hidráulico mineral: 483 K

Aceites lubricantes: 423-523 K

Las temperaturas se refieren a sustancias "puras". Si una sustancia está contaminada por otra con una temperatura de inflamación inferior, la temperatura de inflamación resultante será inferior a la del "puro". Los incendios pueden alcanzar temperaturas de 670 K o más, de forma que los aceites y combustibles pueden contribuir fácilmente a un incendio, aunque no sean el origen del mismo.

El combustible tendrá una temperatura de emisión de vapores inflamables superior a 308 K y se transportará en recipientes cerrados. Esto disminuirá el riesgo de inflamación de los combustibles líquidos (ITC 04.5.04, sobre vehículos automotores).

El almacenamiento de combustible y carga de locomotoras se hará en cámaras incombustibles, bien ventiladas y provistas de elementos de prevención contra incendios. Distarán al menos 5 metros de toda galería de arrastre y dispondrán de un sistema de aislamiento que evite riesgos para el resto de la mina en caso de eventualidad de incendio.

El diseño de una estación de llenado de combustibles líquidos debe incorporar medios adecuados para lavar el suelo con agua y drenar el agua de lavado.

Los retornos de aire de las estaciones de aprovisionamiento de combustible para maquinaria accionada por motor de combustión no discurrirán por ningún frente en actividad o galería frecuentada, salvo que exista un sistema de puerta que cierre

automáticamente y aisle la cámara (ITC 04.6.03, sobre precauciones contra incendios), como puede ser la instalación de puertas de acero que puedan cerrarse en caso de incendio. La entrada debe tener también un umbral para impedir que se derrame el combustible diesel.

Los tanques de almacenaje de combustible diesel han de estar protegidos contra daños accidentales, bien poniendo barricadas entre los tanques y los vehículos que están repostando, o disponiendo que los vehículos no entren en la estación para repostar, sino que utilicen una manguera desde el exterior. Los tanques de combustible diesel han de llevar dispositivos de medida para controlar las entradas y salidas de combustible.

Deben evitarse los derrames en la medida de lo posible y cuando se produzcan han de absorberse con arena u otro material no inflamable y después limpiarse. Los bidones y recipientes de aceite deben montarse sobre bastidores y llevar bandejas para recoger los derrames.

En cualquiera de estas instalaciones debe tenerse en cuenta la previsión de detectores de incendios y, posiblemente, de sistemas automáticos de rociado.

11.4 Combustibles sólidos

Neumáticos

Los almacenes permanentes de neumáticos deben extraer aire a un conducto de aire de retorno siempre que sea posible, y debe considerarse la instalación de una puerta de acero en la entrada, para el bloqueo rápido en caso de incendio. El suelo ha de mantenerse limpio y sin aceite y no debe ser posible que un incendio de otros materiales inflamables llegue a los neumáticos. El número de neumáticos almacenados

debe ser el mínimo posible. Hay que tener a mano un suministro de agua para incendios, así como extintores.

Tuberías de plástico

Si se utilizan tuberías de polietileno de alta densidad, HDPE, deben instalarse cortafuegos en toda su longitud. El cortafuegos podría consistir en un tubo metálico o tubo de polietileno de alta densidad (UPVC) de 5 m de longitud y la separación recomendada entre cortafuegos es de 30 m. Hay que señalar que la función de un cortafuego es detener un incendio que comienza en una sección de tubo sin protección, impidiendo que se propague a la siguiente sección de tubo sin protección. Un cortafuegos no detendrá un incendio importante si la temperatura de los gases del incendio es superior a la temperatura de ignición del HDPE.

No deben instalarse tubos de HDPE a lo largo del recorrido de transportadores.

11.5 Máquinas móviles

Los incendios que se producirían en este caso pueden evitarse con un buen mantenimiento, limpieza y formación del personal.

Máquinas con motores diesel

Las máquinas accionadas por motores diesel deberán disponer de un equipo de extinción de incendios y de máscaras protectoras de monóxidos de carbono, cuyo tipo y disposición se contemplarán en la homologación de la máquina (ITC 04.6.03), y sistemas de iluminación eficaz. Este último deberá ser antigrisú para el caso de utilización en minas con gases inflamables (ITC 04.5.04).

En algunos casos, los materiales inflamables utilizados en las máquinas pueden cambiarse por otros menos inflamables o no inflamables. Un caso puntual son los aceites hidráulicos. No existen aceites hidráulicos no inflamables y debe por ello considerarse seriamente su uso.

En las rutas utilizadas por las máquinas móviles no debe ponerse equipo con tubos de plástico, a menos que sea inevitable.

También debe considerarse la instalación de sistemas de a bordo activados automáticamente o mediante un “botón de pánico”.

Bandas transportadoras

A lo largo del tiempo se han ido llevado a cabo mejoras en la seguridad anti-incendios de las bandas transportadoras. De esta forma, se han obtenido resultados satisfactorios de bandas transportadoras que resisten el calor. Además, existen ensayos de homologación y ensayos de control de calidad que garantizan que estas bandas no transmiten la inflamación.

Según la Orden 23 de febrero de 1996, que modifica la ITC 04.6.03, debe instalarse un sistema de control de CO en la atmósfera de una obra subterránea (y en concreto de una mina), de forma que sea posible detectar prematuramente el desarrollo de un incendio en cualquier punto del circuito de cintas transportadoras (figura 44).



Figura 44. Detector de CO cerca de la cabeza motriz de la cinta transportadora

De esta forma, se instalará un captador de CO próximo a cada grupo motriz, por detrás del mismo según el sentido de la ventilación, con umbral de prealarma. Además, el vigilante del transporte dispondrá de captador portátil de CO.

El puesto de mando de cualquier cinta de interior dispondrá de telefonía para recibir cualquier alarma de CO.

Será obligatorio el uso de equipos de protección individual para el personal que trabaja en la proximidad de las cabezas motrices de cintas transportadoras fijas y semifijas.

Todos los materiales utilizados en el sostenimiento y revestimiento de la zona donde se encuentre instalada en la cinta transportadora deben ser no combustibles 10 metros antes y 10 metros después del grupo o grupos motrices (ITC 04.6.03). En el caso de las minas de carbón, en las cintas instaladas en la galería de capa, además del requisito anterior, la capa de carbón debe ser revestida con un material no combustible en la misma longitud mencionada anteriormente (figura 45).



Figura 45. Revestimiento no combustible de la galería en la zona de cabeza de cinta transportadora.

En la labor donde se encuentre instalada la cinta no deben almacenarse materiales combustibles, excepto, eventualmente, si se justifica la necesidad. En este caso, los puntos o zonas de almacenamiento deben estar dotados de los sistemas de lucha contra incendios apropiados a las características de los productos almacenados.

Debe evitarse, en la medida de lo posible, la utilización de materiales combustibles en el relleno de campanas de hundimiento que se puedan producir a lo largo de la labor donde se encuentra instalada la cinta transportadora.

Las transmisiones hidrocínicas utilizadas en los grupos motrices deben emplear, cuando sea posible, fluidos difícilmente inflamables, que satisfagan lo dispuesto en la ITC 12.0.01, sobre certificaciones y homologaciones.

En la proximidad del grupo motriz es conveniente instalar un sistema de control de velocidad de la banda que provoque la parada automática de la instalación si existe

patinaje. Además, la instalación puede estar dotada de un sistema de corrección de descentrado de la banda que provoque también la parada automática en último caso.

A lo largo del recorrido de la cinta transportadora debe instalarse un sistema de parada de emergencia del tipo tirón, con posición de bloqueo.

La instalación de la banda debe disponer de sistemas de limpieza que aseguren el acceso de la banda limpia a los tambores motrices y de reenvío. La limpieza deberá ser frecuente, y deberá evitarse el derrame de lubricantes (ver anexo C).

Además, en las labores equipadas con transportadores de banda se dispondrá de una red de agua con caudal y presión adecuadas de forma que la longitud de las mangueras destinadas a la extinción de posibles focos pueden alcanzar cualquier punto de la galería o cinta. Las cabezas motrices, estaciones de reenvío así como los puntos de vertido estarán equipados con instalaciones a base de extintores adecuados.

En el caso de minas de carbón, se evitarán las acumulaciones de polvo de carbón en lugares con riesgo de fricción, tales como las cabezas motrices, tambores de reenvío y puntos de vertido.

Siempre que sea posible se instalarán las cabezas motrices fuera de la zona de ventilación secundaria.

11.6 Equipos eléctricos

Los aparatos eléctricos deben ser adecuados para aceptar cualquier carga probable. Es importante revisar periódicamente los factores de carga. Deben preverse los aumentos de carga, de forma que no se produzcan sobrecargas, y si se produce una disminución de la misma, la regulación de la protección contra sobrecargas debe ajustarse como corresponda (figuras 46 y 47).

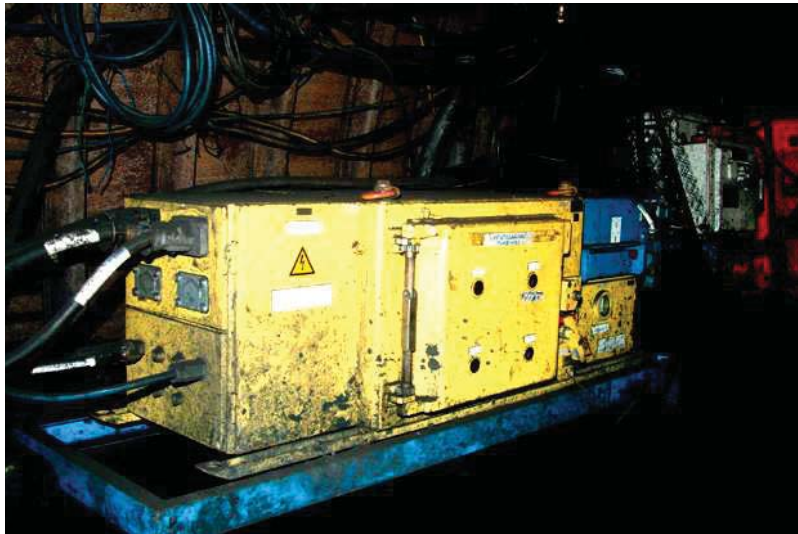


Figura 46. Equipo eléctrico dentro en una obra subterránea



Figura 47. Transformador en una obra subterránea

Los programas de mantenimiento han de diseñarse para sustituir los aceites contaminados de transformadores y disyuntores y hay que retirar sistemáticamente el polvo de carbón de motores y otros aparatos.

Los cables deben instalarse de forma que se minimice el riesgo de daños por maquinaria en movimiento o derrumbes del techo. Los dispositivos de protección no siempre funcionan eficazmente cuando dichos daños producen cortocircuitos entre fases.

Al final de un turno que vaya seguido de un período de descanso, hay que cortar la corriente de máquinas y cables móviles, desconectando los disyuntores y los cables móviles. Esta responsabilidad se ha de asignar a personas concretas.

Las minas de carbón son vulnerables en momentos de cortes o fallos generales de la corriente. Los relés de subtensión no siempre disparan los disyuntores y los circuitos automáticos se activan cuando se repone la corriente.

Procedimientos típicos utilizados en las minas de carbón para la prevención de incendios eléctricos

a) Generales

El equipo eléctrico ha de estar bien ventilado y limpio de polvo de carbón y aceite.

b) Pozos y galerías de acceso

La zona que rodea los pozos y las galerías ha de mantenerse limpia y libre de acumulaciones de materiales inflamables.

Los transformadores y cuadros de conmutación llenos de aceite próximos a pozos, galerías de acceso y túneles de cable han de montarse en un compartimento con muro de contención lleno de piedra machacada de 50 mm. El volumen **del muro ha de ser cuatro veces** el volumen de aceite. Si se considera posible que, en caso de explosión de un transformador, pueda entrar aceite ardiendo en el pozo/galería, hay que prever que entre el transformador y el pozo/galería exista un muro antiexplosión de una altura de al menos 200 mm. por encima de la altura del transformador montado.

En el futuro, sólo deben comprarse transformadores y cuadros de conmutación secos para uso en subestaciones en la parte superior de los pozos. Los líquidos inflamables no han de almacenarse al lado de los pozos y hay que tomar precauciones razonables para evitar que los líquidos inflamables entren y bajen a un pozo/galería.

c) Cable superficial o túneles de tubo en los pozos

Los túneles de cable/tubo han de estar herméticamente separados del pozo mediante un muro o puerta cortafuegos. A través de la junta hermética se pueden instalar un tubo respiradero y un tubo de drenaje. En túneles de cable en los que un incendio tendría graves consecuencias, puede pensarse en instalar un sistema de detección de incendios y rociadores automáticos. No tiene que existir la posibilidad de que se viertan en el túnel aceite u otros líquidos inflamables.

d) Subestaciones subterráneas

Para futuro uso subterráneo, sólo deben comprarse transformadores y cuadros de conmutación del tipo seco. Todas las subestaciones se mantendrán limpias y libres de acumulaciones de materiales inflamables. Las subestaciones han de estar debidamente ventiladas. Si se utilizan ventiladores y filtros para la ventilación forzada de una subestación, hay que limpiar periódicamente las bolsas de los filtros de polvo. Todas las subestaciones han de estar provistas de dos extintores de incendios clase C (ver agentes extintores) montados en la subestación, en el lado de admisión.

Las precauciones generales anteriores se refieren a subestaciones móviles incombustibles, pequeñas subestaciones sin aceite (interruptores de no más de 4 HT o capacidad del transformador de 800 kVA) y subestaciones móviles desmontables con interruptores y/o transformadores con aceite.

Gran subestación sin aceite (transformadores >800 kVA o interruptores >4 HT)

Las subestaciones tendrán suelos de hormigón y paredes de galería de ladrillo. El interior debería ser pintado o blanqueado. Si es posible, las subestaciones tendrán las puertas principal y de emergencia de chapa de acero. Si hay un techo, el espacio de encima del techo ha de estar ventilado. Los cables en zanjas se cubrirán con arena.

Las entradas de cables en la subestación estarán selladas con materiales incombustibles. La puerta o pared del lado de escape tendrá una abertura adecuada para permitir la ventilación. La puerta de admisión tendrá una abertura a la altura de la cabeza para permitir la inspección y la entrada de aire, excepto si la subestación está provista de ventilador y filtro. Esta abertura, también, debe ser lo bastante grande para permitir la ventilación. Cuando sea posible, las subestaciones deben realizar la extracción directamente o a través de un tubo a un conducto de aire de retorno. Si la subestación no puede descargar en un conducto de aire de retorno, las aberturas de ventilación de los extremos de admisión y escape deben llevar portezuelas que se puedan cerrar en caso de incendio. Pueden estudiarse sistemas automáticos de extinción de incendios del tipo de gas para grandes instalaciones o instalaciones en los conductos principales de admisión de aire.

Subestaciones con equipo con aceite (excepto subestaciones móviles desmontables)

Es de aplicación lo estipulado anteriormente para grandes subestaciones sin aceite.

Además:

Podría construirse un umbral a través de las aberturas de puertas de los transformadores con aceite, para impedir que el aceite se salga de la subestación. Las superficies de carbón expuestas deberían protegerse preferentemente con tabicado, gunitado o enlucido. En el lado de entrada de la subestación podrían colocarse dos extintores clase C y dos cubos de arena. Si es posible, debe colocarse un punto de agua y una manguera de al menos 25 mm. de diámetro en un lugar adecuado para la subestación. Las instalaciones de transformadores con aceite situadas en los conductos principales de admisión de aire y que no estén ventiladas en retorno, han de estar provistas de sistemas contra incendios por rociado de agua, automáticos y de alta velocidad. Se recomienda comprobar trimestralmente si hay puntos calientes en los

cuadros de conmutación y transformadores con aceite subterráneos, utilizando equipo de exploración de infrarrojos.

Pequeños transformadores individuales rellenos de aceite (25 kVA o menos) o disyuntores individuales con circuito de aceite.

El transformador/disyuntor podrá ser colocado separado del pilar de carbón y se montará sobre una superficie de contención rellena con piedra machacada de 50 mm, la capacidad de la zona de contención será cuatro veces el volumen de aceite contenido en el transformador/disyuntor. Puede colocarse un extintor clase C en el lado de admisión de la instalación.

Estaciones de carga de baterías

Los cuartos de baterías podrán construirse de tal forma que el aire de admisión que entre en el cuarto de baterías se ventile a un conducto de aire de retorno y no se permita que continúe como aire de admisión hasta un lugar de trabajo. El suelo del cuarto será impermeable y construido para permitir su lavado periódico. Las paredes, el sostenimiento o cualquier recubrimiento del cuarto se hará con materiales incombustibles (figura 48). Hay que instalar una tubería de agua de 25 mm de diámetro con manguera, en un espacio de 50 m. de todas las baterías del cuarto. Todo equipo con aceite ha de ir montado sobre una superficie de contención de capacidad adecuada, rellena de piedra machacada de 50 mm. En el lado de entrada del cuarto pueden colocarse dos extintores clase C.

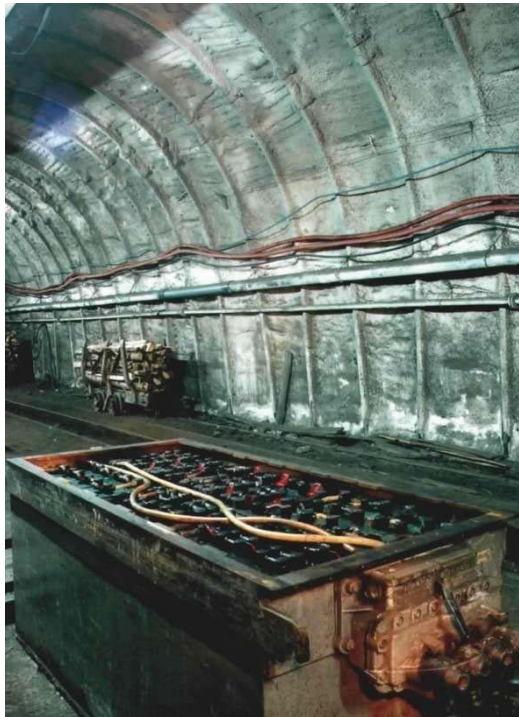


Figura 48. Estación de carga de baterías. Revestimiento ignífugo

Cables

Los cables para uso subterráneo cumplirán las normas. Para futuro uso subterráneo sólo se comprarán cables ignífugos y juntas construidas según una especificación aprobada. En la medida de lo posible, los cables estarán suspendidos y protegidos contra daños. Los cables se tenderán limpiamente y no en haces. Si se tiende un gran número de cables, deben tenderse en bandejas. Si es posible, deben evitarse varias capas de cables en bandejas. Si se tiende un gran número de cables en conductos de aire de admisión a una distancia considerable, deben preverse barreras cortafuegos a intervalos. Las barreras cortafuegos en bandejas de cable en conductos de aire de admisión deben tener al menos 2 m. de longitud e instalarse a intervalos de no más de 100 m. Si es posible, los cables no deben instalarse a menos de 300 mm. de madera. Una barrera cortafuegos puede adoptar la forma de una caja llena de arena, un revestimiento de vermiculita u otro yeso ignífugo o pintura intumescente.

11.7 Electricidad electrostática

No puede impedirse la generación de electricidad estática, sin embargo si puede establecerse el modo de que las cargas que se han separado, puedan combinarse de nuevo, sin causar daños, antes de que alcancen acumulaciones de potencial capaces de producir chispas.

Las actuaciones, en este caso, estarán enfocadas principalmente a impedir la formación de chispas y evitar la formación de mezclas de vapor y aire inflamables, eliminando o reduciendo la concentración de oxígeno con gases inertes.

Disipación de la electricidad estática

Existen tres métodos fundamentales para la disipación de cargas eléctricas:

- *Humificación*: se suele humificar hasta un grado relativo de 70%. Para los materiales (en los cuales se acumula) en los que se alcance un punto de equilibrio con la atmósfera, como es el caso de la madera o el papel. No sería aplicable este método para aceites, por ejemplo.
- *Interconexión y puestas a tierra*: es el proceso de conectar dos o más objetos conductores por medio de un conductor, y éste a su vez, puede ponerse a tierra o conectarse a otro conductor que esté puesto a tierra. Las tuberías o depósitos de almacenamiento que se encuentren apoyados en el suelo, ya están puestos a tierra de forma natural.
- *Ionización*: el aire puede ser ionizado por: materiales radiactivos, llamas abiertas, neutralización estática, y colectores de puntos. Puede lograrse esta operación mediante el empleo de aparatos eliminadores eléctricos o

eliminadores radiactivos. Su instalación y control puede generar otros riesgos como inflamación de vapores o contaminación radiactiva. Por ello, es más adecuado el empleo de otros métodos de prevención

Otros métodos de prevención pueden ser: reducir las turbulencias en las tuberías donde circulan los líquidos, usar correas antiestáticas siempre que sea posible en los elementos de arrastre en cuanto a máquinas, y prendas y calzado conductores con suelas antiestáticas, comprobar cuidadosamente y con regularidad la continuidad eléctrica de las líneas y mangueras que puedan introducir líquidos inflamables o que puedan ser introducidos en espacios con atmósferas explosivas, y tomar precauciones en el trasvase donde, antes de llenar el recipiente, deberá establecerse contacto entre el mismo y la boca de carga, y debe mantenerse dicho contacto durante la operación de llenado. Con esto, se conseguirá eliminar la diferencia de potencial entre el recipiente y la boca de carga.

Detectores de electricidad estática

Existen distintos tipos de detectores con los que se pueda advertir la presencia de electricidad estática e incluso, en algunos casos cuál es su intensidad. Estos son:

- Electroscopios de hojas de oro: utilizados más comúnmente para fines didácticos.
- Lámparas de neón o tubos fluorescentes: que experimentan una débil iluminación cuando uno de sus extremos se pone a tierra o se sostiene con la mano, y el otro extremo hace contacto con cualquier conductor de ciertas dimensiones que posea una carga igual o superior a 100 voltios.

Estos dos métodos de detección proporcionan muy poca información cuantitativa de la electricidad estática que pueda existir.

- Voltímetros electrostáticos: que funcionan por la atracción electrostática que se produce entre las paletas metálicas, unas móviles y otras fijas. Para mantener la desviación no es necesario que pase la corriente. Existen instrumentos para mediciones de 100 voltios y para 500 voltios.
- Voltímetros generadores: que proporcionan una indicación continua de las cargas por medio de la producción de sus propias corrientes transitorias en forma de una modulación de rejilla continua.

11.8 Soldadura y oxicorte

En cuanto a las funciones de almacenamiento, transporte y manipulación de botellas de oxígeno y acetileno, deben ser realizadas sólo por personas especializadas.

Las botellas deben ser almacenadas y transportadas siempre en posición vertical y protegidas de cualquier caída. Las botellas no se manejarán con las manos grasientas y se mantendrá el almacén siempre limpio de sustancias inflamables o combustibles.

Deberán protegerse las botellas de cualquier tipo de proyección incandescente o agresión mecánica que pueda dañarlas. Deben alejarse de los focos de calor.

Las botellas se trasladarán siempre con el capuchón de protección de la válvula colocado.

Antes de usar las botellas debe asegurarse la correcta sujeción de las mismas para evitar su caída. Las válvulas deben estar bien cerradas, excepto cuando se emplee el gas, que deben estar completamente abiertas. Además, deberá asegurarse la no existencia de fugas en las botellas y que las conexiones estén bien apretadas.

Las precauciones generales que deben tomarse en su uso para la soldadura y oxicorte y soldadura eléctrica son:

- En el lugar de trabajo:
 - a) Siempre que sea posible se trasladarán las piezas a soldar a los talleres correspondientes
 - b) Medidas para asegurar que la ventilación sigue siendo adecuada y constante durante toda la operación de corte / soldadura. El lugar de trabajo debe ser bien ventilado con suficiente antelación
 - c) Medidas para asegurar que se dispone de un suministro de agua adecuado

antes de comenzar las operaciones y durante las mismas. Si la zona de trabajo no dispone de salidas de agua y mangueras, se instalarán antes de iniciar el trabajo. En otro caso se dispondrá al menos de un extintor de incendios apropiado.

- d) La limpieza del lugar de las operaciones antes de comenzar el trabajo, de materiales combustibles tanto sólidos como de recipientes de líquidos o gases a más de 10 m de distancia. Si los depósitos fueran fijos se vaciarán y se inertizarán así como las conducciones. Tanto en unos como en otros se retirarán, si los tuviesen, los aislantes térmicos combustibles. Cuando existan materiales combustibles imposibles de trasladar se cubrirán con lonas o pantallas no combustibles y malos conductores de calor, teniendo en cuenta los posibles rebotes de chispas. Las rendijas y huecos también deben ser recubiertas con los mismos materiales en un radio de 10m.
- e) Se limpiará el lugar de residuos (aceites, grasas, pintura, trapos impregnados).
- f) Si existen elementos metálicos (tuberías, estructuras) que pudieran conducir el calor hasta los materiales combustibles, se separarán estos o se dispondrán los medios para refrigerar las conducciones durante el trabajo. Se deberá tener en cuenta la posible salida de llamas por los extremos de las tuberías.
- g) La aplicación continua de agua en el suelo debajo del material que se está cortando o soldando.
- h) La utilización de todos los medios de protección adecuados y obligatorios, como gafas o pantallas con cristales homologados, etc.
- i) Todos los trabajos de soldadura o corte oxiacetilénico en interior de mina estarán bajo la supervisión de un vigilante o encargado responsable, el cual previamente a los trabajos avisará al Departamento de Seguridad.
- j) El vigilante responsable deberá disponer de un medidor continuo de grisú, encargándose personalmente de registrar los contenidos de grisú en la zona de trabajo, con atención especial a las campanas o zonas altas de la galería.
- k) No se podrán finalizar los trabajos, o deberán ser interrumpidos, cuando el vigilante o encargado detecte en la zona de trabajo contenidos de grisú peligrosos.

- l) La provisión de suficiente arena o polvo incombustible para sofocar cualquier incendio que pueda producirse.
- m) Una vez finalizados los trabajos de soldadura y oxicorte, el vigilante deberá reconocer minuciosamente la zona de trabajo asegurando la no existencia de brasas o puntos calientes que pudieran llegar a ser el origen de un incendio. Es conveniente la refrigeración de la zona mediante riego con agua, en particular de los materiales combustibles.

Además, en todo tipo de corte deben utilizarse supresores del retroceso de la llama.

Precauciones similares a las anteriores deben aplicarse también si se realiza corte/soldadura en o encima de un pozo, excepto que se requiere una estrecha supervisión, tanto en el lugar donde se están realizando las operaciones como en cualquier lugar que pueda estar en peligro por chispas o material fundido. Ha de mantenerse en todo momento una comunicación continua entre los dos supervisores.

Cuando el trabajo se realiza encima del pozo, hay que colocar un bidón o cubo de agua inmediatamente debajo del lugar del corte/soldadura, para recoger las chispas o el material fundido. Una vez terminado el trabajo, debe designarse un guarda para vigilar el lugar durante un período no inferior a cuatro horas, para asegurarse de que no hay combustión latente.

11.9 Explosivos

Los explosivos, que cada día son de uso más frecuente, pueden ser causa de incendio ya que la explosión provocada puede inflamar una atmósfera potencialmente explosiva o materiales combustibles que estén en el área de influencia de los gases y proyecciones.

El Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera clasifica, atendiendo a la existencia de grisú a las minas y labores subterráneas en general en cuatro categorías:

1. **De primera categoría o sin grisú:** aquellas que no presentan grisú ni otros gases inflamables.
2. **De segunda categoría o débilmente grisoso:** aquellas en las que puede desprenderse en cantidad reducida de grisú u otros gases inflamables.
3. **De tercera categoría o fuertemente grisoso:** aquellas en las que puede desprenderse en cantidades abundantes grisú u otros gases inflamables.
4. **De cuarta categoría o con desprendimientos instantáneos de gas:** aquellas en las que puede desprenderse de forma súbita grisú u otros gases inflamables, originando el arrastre violento de grandes cantidades de roca.

Salvo en las labores que se denomina de primera clase, en las que se puede utilizar cualquier tipo de explosivo, en el resto de labores debe utilizarse los explosivos de seguridad. Este tipo de explosivos deben reunir unas características muy selectivas para lograr unos elevados índices de seguridad.

A finales del siglo XIX comenzaron los estudios para desarrollar explosivos para minas de carbón que fuesen más seguros que los que en ese momento se utilizaban, que eran pólvoras y explosivos rompedores. Tras numerosos estudios, se desarrollaron explosivos con una envuelta de seguridad. Para constituir dicha envuelta de seguridad, Lamaira estudió diferentes materiales como la arena, sales con agua cristalizada y cuerpos volatilizables por el calor (cloruros). Estas envoltas presentaban los inconvenientes de un excesivo calibre y el desmoronamiento de la envolvente.

En los años cuarenta se comprobó que al incorporar a la masa del explosivo los elementos inhibidores de la funda, se mejoraba sustancialmente la seguridad. En los años cincuenta aparecen unas nuevas composiciones, denominadas de intercambio iónico que aumentan notoriamente la seguridad.

Como última etapa han surgido modificaciones de los explosivos tipo hidrogeles y posteriormente de las emulsiones.

Explosivos con aditivo inhibidor. En este tipo de explosivo el grado de seguridad se logra a partir de un aditivo que se comporta como inhibidor de la inflamación del grisú y del polvo de carbón. Este se introduce en la formulación del explosivo. A medida que aumenta el contenido del producto inhibidor, se produce un incremento de la seguridad que siempre va acompañada de una pérdida gradual de las características explosivas. En todos los tipos de explosivo hay una relación inversa entre seguridad y potencia, por lo que los explosivos muy seguros son siempre explosivos con bajas prestaciones, en cuanto a características prácticas.

Explosivos de intercambio iónico. En este tipo de explosivo, al contrario de lo que sucede con los del grupo anterior, la seguridad no se logra mediante la adición de un determinado tipo de inhibidor, sino que en la composición del producto entran a formar parte, como ingredientes, diversos compuestos cuya reacción en el momento de la detonación tiene como resultado la formación del inhibidor en ese mismo instante.

Hidrogeles y emulsiones de seguridad. Una vez desarrollados los explosivos tipos hidrogeles, se han adecuado sus formulaciones para que cumplan los requisitos de seguridad, manteniendo las características básicas de este tipo de explosivos. Las características explosivas de los hidrogeles de seguridad quedan disminuidas si las comparamos con los hidrogeles normales. Lo comentado a hidrogeles se puede ampliar a las emulsiones explosivas de seguridad.

En todas las clases de labores los explosivos y detonadores deben ser de tipo homologado. Además en todas las labores, menos en las de primera categoría, deberán ser de seguridad antigrisú y del tipo oficialmente aprobado por la Dirección General de Minas. En este tipo de labores queda terminantemente prohibida la

iniciación de voladura por medio de mecha lenta. El empleo de cualquier otro sistema de iniciación que no sea la pega eléctrica exigirá la autorización expresa de la Dirección General de Minas (ITC 10.4.01). Los detonadores eléctricos adecuados para su utilización en ambientes grisusos o inflamables son los de cápsula de cobre, donde la cápsula e hilos de alimentación son de éste metal.

El uso de cordón, no antigrisú, queda limitado a las labores de la clase primera. Cuando se utilice el cordón detonante antigrisú en explotaciones no clasificadas de primera categoría se colocará aquel en su totalidad en el interior del barreno detrás del retacado (ITC 10.4.01).

La calidad y cantidad del retacado debe ser cuidada. Para su ejecución deben utilizarse materiales que sean suficientemente plásticos, que en ningún caso propaguen la llama y que sean antiestáticos (ITC10.2.01). Para obras subterráneas que no son de primera categoría, se deben emplear tacos inhibidores o enfriadores de gases, llamas o partículas incandescentes (ITC 10.4.01), siendo un ejemplo práctico la utilización de tacos de sal. Antes de ejecutar una voladura se deberá realizar la medición del grisú y la ventilación debe ser suficiente.



Figura 49. Retacado de cartuchos para voladura en arranque de carbón.

Una vez efectuada la detonación debe realizarse una correcta ventilación. En el caso del avance en galería con el empleo de explosivos en una obra subterránea con grisú u otros gases inflamables, la ventilación en la inmediación del frente de la labor será siempre soplante y su caudal será superior a 0,1 metros cúbicos por segundo por cada metro cuadrado de sección de galería. Si el avance se realiza con máquinas de corte, la ventilación en el frente puede ser aspirante, pero su boca debe situarse a menos de 2 metros del mismo (ITC 05.0.03).

En resumen, las causas más frecuentes de fuego por explosivos son:

1. Falta de retacado. La finalidad del retacado es que los gases producidos durante la reacción química de la explosión puedan trabajar, además de evitar que la salida de estos gases calientes, partículas incandescentes y llamas que por proyección alcancen materiales combustibles
2. Utilización de materiales sin homologar. Es importante señalar la importancia de la utilización de materiales homologados que, además de ser de obligada utilización, dan mayor garantía de seguridad., desde la vaina del explosivo hasta el retacado.
3. En minería de carbón es importante evitar barrenos calados a zonas sin ventilar como en llaves de carbón sin salida, hundidos y bóvedas. Estos barrenos pueden estar descabezados y conectados con zonas con grisú que podría estallar y provocar un incendio.
4. Explosivos de uso limitado. A pesar de los explosivos de seguridad son de obligada utilización en todas labores clasificadas, menos en las de primera categoría, la incorrecta utilización de estos es causa de fuegos. Por ejemplo, la utilización de Goma 2 con alta temperatura de los gases en obras subterráneas no adecuadas es causa de incendio.

12 DETECCIÓN DE FUEGOS E INCENDIOS

Se entiende por detección de fuegos e incendios el hecho de descubrir y avisar de la existencia de un fuego o incendio en un determinado lugar.

Las características más importantes que deben tener los sistemas de detección son la rapidez y la fiabilidad de la detección. La rapidez dependerá de la demora en la puesta en marcha del plan de emergencia, y, por tanto de las posibilidades de éxito; la fiabilidad es imprescindible para evitar que las falsas alarmas quiten credibilidad y confianza al sistema, lo que desembocaría en una pérdida de rapidez en la puesta en marcha del plan de emergencia.

12.1 Sistemas de detección

Si a juicio del responsable hay riesgo, se recomienda, proveer un sistema adecuado para la detección a tiempo del fuego o del calentamiento espontáneo en la misma.

Se recomienda que todo fuego que no se encuentra bajo control en las primeras dos o tres horas sea sellado para su extinción.

Si la mina tiene propensión a fuegos, según la I.T.C. 05.3.01, deberá disponer de detectores continuos de monóxido de carbono, con estación centralizada en el exterior de la mina para el control de las medidas.

Es importante establecer un equilibrio entre los sistemas de detección automática y los sistemas de detección manual. La detección automática realiza una vigilancia continua en los puntos fijados previamente incluso cuando la obra subterránea se encuentre desalojada, pero simplemente alerta al personal si se detecta un fuego.

Sin embargo, el ser humano (detección manual) es el único tipo de detector que, habiendo detectado un fuego, bien comienza a enfrentarse a él para extinguirlo o bien aporta alguna solución a la situación.

12.1.1 Detección manual

Se basa en la detección sensorial del fuego por parte del hombre. Para ello, sería recomendable la formación de un equipo de personas que, una vez que detecten el fuego, tengan los conocimientos necesarios para actuar debidamente.

Las cualidades de este equipo deberán ser: inteligencia, confianza y forma física, y, además, es recomendable que hayan sido trabajadores de la obra subterránea durante un largo período de tiempo, de forma que conozcan suficientemente el lugar.

Por tanto, el equipo de personas designado para la labor de vigilancia, deberá conocer perfectamente las rutas de la obra subterránea, familiarizarse con el olor de la combustión, por ejemplo el olor de la combustión del carbón, y deberá ser entrenado en los equipos de detección automática que utilizará, tales como; autorrescatadores, equipo personal de medición de CO y el metanómetro de medición continua (figura 50).



Figura 50. Vigilante de mina realizando mediciones con un medidor portátil

La patrulla de vigilancia comenzará su labor justo después de terminar el último turno de trabajo en la obra, dando comienzo al fin de semana o cualquier periodo no laboral.

Ante cualquier olor a combustión, la persona responsable deberá informarlo lo antes posible al personal que se encuentre en el exterior, sin esperar la indicación dada por el equipo de CO para confirmarlo.

12.1.2 Detección automática

Los detectores automáticos más comunes utilizados para posiciones fijas, sobretodo en explotaciones mineras de carbón, son aquellos destinados a la medición de la concentración monóxido de carbono y la densidad del humo. Sin embargo, existen

detectores automáticos para otro tipo de parámetros tales como:

- Productos de combustión:

Pueden medirse mediante un sensor de tipo semi-conductor y en éste se incluirían gases como el hidrógeno, alcoholes y fenoles. Estos gases pueden ser producidos por el sobrecalentamiento de una cinta transportadora o de un aislamiento eléctrico. El detector de *productos de combustión* incorpora normalmente un sensor de monóxido de carbono.

- Monóxido de carbono:

Es normalmente medido mediante un sensor de célula electroquímica. Existen detectores portátiles de CO o detectores instalados en posiciones fijas dentro de la obra subterránea.

- Ruido térmico (detección térmica):

Se trata de un termistor cuya resistencia eléctrica varía con la temperatura. En su uso normal, una corriente constante pasa a través del termistor y el voltaje producido en corriente continua es utilizado para indicar la temperatura del ambiente.

Cuando el termistor se sitúa en una corriente de aire, se sobreponen pequeñas fluctuaciones de las señales de corriente alterna sobre las de corriente continua. La fluctuación tiene una frecuencia de algunas decenas de hercios y es a lo que se refiere el término *ruido térmico*.

Una pequeña adición de calor contracorriente en el sensor incrementa la amplitud de la componente de la corriente alterna. Esta modificación se detecta bastante tiempo antes de existir cualquier cambio apreciable en la temperatura del ambiente, y es utilizada como base para la detección del calor.

- Densidad del humo:

Se mide con un tipo de detector de ionización.

Aplicaciones típicas de los detectores automáticos

Instalación de cintas transportadoras:

El tipo de detector utilizado para *productos de combustión* podría situarse cerca de la cabeza motriz de las cintas, ya que puede detectar gases que emanen del sobrecalentamiento de una banda transportadora. De la misma manera, para detectar también un sobrecalentamiento, podría ser utilizado un sensor de *ruido térmico* que cubra una zona muy limitada cerca de la cabeza motriz de las cintas.

Sin embargo, ya que los fuegos producidos en bandas transportadoras siguen la secuencia: fuego del carbón ardiendo, fuego de las llamas del carbón de pequeño tamaño, y fuego producido por la combinación de la combustión del carbón y la banda transportadora, aumentando rápidamente su intensidad, y ya que al final el fuego puede alcanzar rápidamente proporciones letales, la estrategia adecuada es detectar el fuego en el carbón de pequeño tamaño y extinguirlo mientras sigue desarrollándose lentamente.

Estudios recientes indican que el detector de *humo* responde más rápidamente al carbón que se encuentra ardiendo y a las llamas debidas a la combustión del mismo, que el detector de *monóxido de carbono*.

Dependiendo de la sensibilidad del sensor, el tiempo de respuesta del mismo, y la velocidad y la cantidad de aire que incida sobre la banda, el detector se colocará en una zona u otra de la cinta transportadora.

- Toma de aire:

Se dan menos fuegos en las instalaciones situadas en la toma de aire que en las instalaciones de cintas transportadoras, sin embargo, pueden ocurrir fuegos en instalaciones fijas como: subestaciones, estaciones de bombeo, talleres de trabajo, o compresores.

Si existe la necesidad de detectar fuegos en estas instalaciones, deberá elegirse entre los detectores de monóxido de carbono y detectores de humos.

- Aire de retorno:

Los detectores en el aire de retorno actúan como vigilantes en todas las secciones y, en ocasiones, en toda una mina, y deben indicar la ocurrencia de todos los tipos de fuegos, incluyendo los debidos a la combustión espontánea. Para este caso, los detectores que deben emplearse son los de *monóxido de carbono* (figura 51).



Figura 51. Detectores de CO y CH₄ ubicados en el retorno de ventilación.

- Maquinaria en funcionamiento:

El aire que entra por las secciones de producción puede ser vigilado por los detectores de *monóxido de carbono* o por los detectores de *humo*.

Debe tenerse en cuenta que cualquier equipo de diesel que se encuentre en uso puede tener algún efecto sobre los detectores. Los detectores de *monóxido de carbono* y de *humo* quedarían afectados de alguna forma aunque es posible distinguir normalmente entre los efectos producidos por los humos de combustión de diesel y el fuego en sí mismo.

Además, los detectores en la zona de retorno de aire en el lugar de trabajo quedarían también afectados por las pequeñas emisiones de humo de un fuego, el cual se tendría en cuenta de la misma manera.

- Instalaciones fijas:

Pueden ser cabezas motrices de cintas transportadoras (que se encuentran cubiertas de alguna forma), subestaciones eléctricas, estaciones de carga de baterías, talleres de trabajos y estaciones compresoras subterráneas. Dependería del grado de manipulación de las instalaciones.

Podrían utilizarse los detectores de *monóxido de carbono* y de *humo* pero podría tomarse en consideración también los detectores de *productos de combustión* o los de *ruido térmico*. Existen una serie de ventajas en la utilización de estos últimos para algunas aplicaciones, donde el sistema general de detección de una obra subterránea se basa en detectores más comunes como los de *monóxido de carbono* y de *humo*.

Un tipo de “opinión electrónica secundaria” podría ser provista por detectores menos comunes. El detector de *ruido térmico* sería adecuado allí donde la fuente potencial

de fuego es absolutamente fija, por ejemplo, subestaciones eléctricas, compresores, etc. Los sensores electroquímicos de *monóxido de carbono* no deben ser usados para vigilar las estaciones de carga de baterías ya que el hidrógeno ocasiona una respuesta de dichos sensores. Estos detectores deben ser emplazados corriente debajo de las instalaciones fijas, de manera que no se produzca la mezcla completa de gases o humos. El detector de *ruido térmico* tendría que estar mucho más cerca de la fuente potencial del fuego que los detectores de *monóxido de carbono* y de *humo*.

Algunas instalaciones contienen un sistema de spray o de riego por aspersion unido al sistema de detección de fuegos, por ejemplo, los almacenes subterráneos que contienen materiales inflamables.

Instalación de los detectores automáticos

a) Instalación de los detectores subterráneos

El planeamiento de las posiciones de los detectores puede ser realizado sólo por personas con un conocimiento suficiente de la obra, de sus principales fuentes de ignición y de su sistema de ventilación. Todas las fuentes de ignición deben cubrirse por un número mínimo efectivo de detectores, teniendo en cuenta la carga del mantenimiento que supone a la supervisión de todos los recursos. Sin embargo, siempre que sea posible el sistema deberá ser diseñado de manera que un fuego situado en una posición determinada dispare la alarma en al menos dos detectores. Esta es una gran ayuda a la hora de localizar el “blanco” rápidamente en el lugar del fuego. Debe tenerse conciencia de cuáles son los patrones de población de la obra (cuáles son las partes de la obra más pobladas y cuándo).

Los cambios en el sistema de supervisión deben ser planeados previamente como parte del plan rutinario general de la obra.

La posición actual de los detectores automáticos debe ser tal que la corriente de aire que fluye sobre el sensor es totalmente representativa de la corriente que se pretende vigilar. Los detectores no deberán estar situados en las intersecciones donde se encuentre la corriente de aire, sino a suficiente distancia corriente abajo de las mismas de forma que se asegure la mezcla completa de la corriente de aire. Esta situación puede ser comprobada mediante ensayos con humo químico.

El posicionamiento de los detectores es lo más crítico, ya que los detectores se emplazan con el fin de proteger las fuentes potenciales de fuego como las cabezas motrices de las cintas transportadoras (figura 52) y otros equipos estacionarios.

Los detectores deben estar posicionados allí donde el aire contenga “el indicador medio de fuego” procedente de todas las fuentes de fuego que pasen sobre el detector. En el caso de la cabeza motriz de una cinta transportadora, una fuente potencial de fuego podrían ser los frenos, el tensor o el tambor.



Figura 52. Estación fija de detección de CO cerca de cabeza motriz de cinta transportadora

Se ha demostrado que los patrones de la corriente de aire se ven afectados por el tamaño y la forma de la maquinaria y la velocidad del aire. La posición exacta de un

detector será determinada por los ensayos de humo químico. Donde sea necesario, deberán instalarse deflectores que dirijan la corriente sobre el detector.

Deben considerarse las influencias externas tales como humos de diesel, focos de fuegos, vapores de disolventes y el paso de personal, el tipo de material y de vehículos. También deben tenerse en cuenta la facilidad de inspección y mantenimiento de los detectores.

Los detectores de humo deberán posicionarse después de la realización de los ensayos de humo químico, ya que el humo químico podría interferir en el sensor y reducir su sensibilidad.

La instalación definitiva de los detectores deberá llevarse a cabo por el proveedor o de acuerdo a las instrucciones dadas por el mismo.

b) La sensibilidad cruzada de los detectores electro-químicos

La velocidad de reacción de las células electroquímicas, incluyendo aquellas que están diseñadas para la detección de monóxido de carbono, es dependiente de la temperatura. La mayoría de los detectores poseen una compensación de temperatura de forma incorporada, pero quizás existan inexactitudes en casos de temperaturas extremas. Además, existe la posibilidad de que los detectores reaccionen con otros gases en mayor o menor grado. El efecto de sensibilidad cruzada con hidrógeno aumenta con el aumento de la temperatura. A 313 K una concentración de hidrógeno de 100 ppm provocaría una indicación de CO de menos de 90 ppm.

Colocación en superficie

La mayoría de los sistemas de vigilancia están vinculados a un sistema de control central en la superficie donde la red entera se encuentra en constante vigilancia (ver figura 53).



Figura 53. Sistema de control central

Este sistema de vigilancia, por razones económicas, puede estar combinado con un sistema de vigilancia del metano en la obra (ver figura 51) y un sistema de control y centralización de producción de datos de los gases que influyen en una combustión.

Además, el trabajador puede cerciorarse del contenido del gas metano (figura 54), monóxido de carbono y oxígeno, a partir de los detectores portátiles (figura 57).



Figura 54. Detector de metano portátil

Los detectores subterráneos de fuegos tienen normalmente alarmas visuales o audibles *in situ* así como alarmas de actuación sincronizada en superficie (figura 55). La instalación en superficie puede ser utilizada para aumentar la sofisticación de la red entera, mediante la utilización de la tecnología informática.

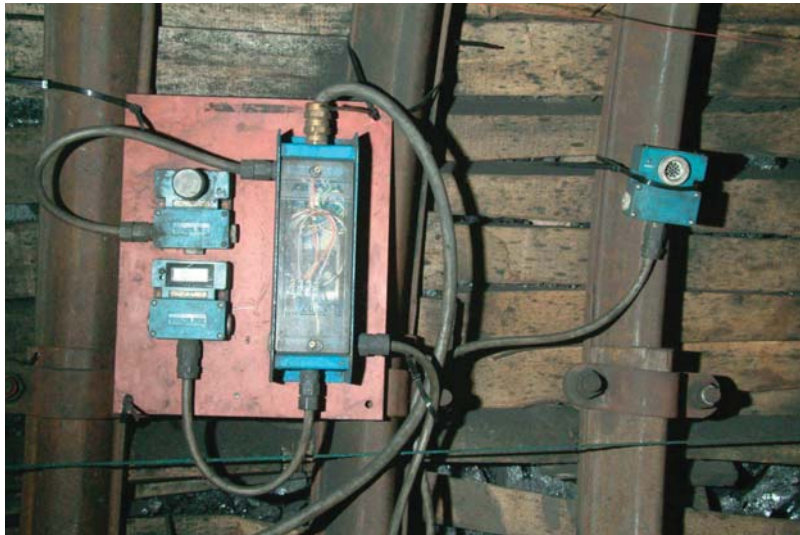


Figura 55.

Los detectores pueden establecer distintos niveles de alarma, con, quizás, distintos niveles de alarma para diferentes detectores. Puede establecerse más de un nivel de

alarma para un mismo detector. Estos niveles podrían tratarse de Alarmas Preliminares, Alarmas de Aviso y Nivel de Acción. La respuesta apropiada puede ser programada en el sistema informático. El establecimiento de los niveles de alarma deberá basarse en datos históricos de manera que, la influencia de humos de diesel, humos de pequeñas llamaradas, y cambios en los niveles de monóxido de carbono del aire, puedan ser tenidas en cuenta.

La instalación final de los niveles de alarma deberán ser tales que eviten falsas alarmas mientras aseguran que las condiciones originales de la alarma no se pierdan. Los niveles de alarma pueden reducirse durante los periodos de fin de semana, cuando existen influencias externas, o cuando existe un aumento de las actividades de producción. Por otro lado, pueden aumentar cuando las variaciones estacionales llevan a un aumento de monóxido de carbono en el sistema.

Desde un punto de vista más sofisticado, incluyendo sistemas hardware y software más caros, las lecturas pueden ser objeto de un análisis estadístico antes de ser tomada la decisión o de que las condiciones de la alarma hayan aumentado o no (figura 56). La velocidad de cambio en el parámetro medido se tomaría en cuenta de la misma manera que la duración del pico antes de que las indicaciones vuelvan a la normalidad. De esta manera, puede realizarse una distinción entre el fuego original y alguna otra fuente del indicador de fuego específico.



Figura 56. Resultados obtenidos del control centralizado

Una influencia externa mostraría normalmente un cambio -pico trascendente- que volvería al patrón normal con diferentes valores numéricos según los diferentes tipos de influencias, mientras un fuego mostraría una estabilidad, cambio continuado, sin signo de volver a la normalidad. El uso de tecnología informática avanzada podría mejorar las funciones de seguimiento del progreso y efectividad de las actividades de lucha contra incendios de los sistemas de vigilancia.

La estrategia de instalación de los niveles de alarma deberán ser revisados frecuentemente y deberá tenerse conciencia de los cambios de la situación de la obra subterránea.

Sistemas de haces de tubos

Los sistemas de haces de tubos han sido ampliamente reemplazados por sistemas de transductores de uso subterráneo. Sin embargo, todavía poseen valiosas ventajas sobre muchos de los sistemas más modernos.

Debido a que un sistema de haces de tubos está sometido a continuas trazas de muestras de gas de una amplia variedad de fuentes subterráneas (incluyendo, por

ejemplo, zonas selladas) y todos los análisis de gas se llevan a cabo en la superficie, los gases que están siendo vigilados pueden ser modificados para adaptarse a cualquier circunstancia especial que pueda ocurrir. Además, ya que un sistema de haces no requiere energía de ninguna fuente subterránea, podría permanecer funcionando en cualquier situación desastrosa cercana, cuando un sistema electrónico no lo haría. Incluso si el sistema fuera incapacitado, la restauración de las líneas de muestreo subterráneas sería mucho más sencilla que la restauración de los sensores y la transmisión electrónica de las líneas.

La desventaja del sistema de haces de tubos, es, principalmente, que el tiempo de respuesta es demasiado largo con respecto a la del sistema electrónico, aunque este periodo no es excesivo.

Monitores personales de CO

El aumento del uso de monitores personales de CO puede contribuir a toda el sistema de detección de la obra subterránea, haciendo que un juicio personal sobre los posibles síntomas de fuego sean menos subjetivo (ver figura 57).



Figura 57. Detectores portátiles de oxígeno y monóxido de carbono

Mantenimiento

Los beneficios de una vigilancia continua son indudables y la pronta detección de un fuego puede resultar sensiblemente efectiva en el coste, pero existe un coste adicional de mantenimiento (figura 57). Los transductores deberán ser inspeccionados *in situ* en intervalos regulares. Esta inspección incluiría la limpieza, calibración y el reemplazo de las piezas defectuosas del equipo. Además, los detectores deberán ser devueltos al proveedor para un mantenimiento más intensivo, en intervalos especificados por el mismo. A pesar de todo, el aumento del uso del equipo electrónico en obras subterráneas ha cambiado el plan en los sectores de mantenimiento.



Figura 58. Medidores en mantenimiento

12.2 Detección de la autocombustión de carbón: fuegos en minas de carbón

12.2.1 Métodos de detección

- Observación de los indicadores físicos

El desarrollo de un calentamiento en la masa o capa de carbón suele ir acompañado por la aparición de varios fenómenos, algunos de los cuales pueden ser apreciados por nuestros sentidos

Así, en los estados iniciales del calentamiento es frecuente que al empezar a perder humedad el carbón se formen ligeras brumas, que dificultan la visibilidad, o incluso que vapor de agua condense sobre superficies frías, lógicamente algo apartadas del foco caliente.

Al seguir aumentando la temperatura, puede observarse sudor de los estratos y del sostenimiento. Esto es particularmente significativo en minas muy secas, en las que no pueden confundirse con otro tipo de acumulaciones acuosas sobre las paredes.

Uno de los síntomas más claros que permiten conocer la existencia de una fuego es el olor. Este es debido a la destilación de algunos productos de carbón como los hidrocarburos saturados (ver anexo I). El olor es tan característico que no suele inducir a error.

Cuando progresa el autocalentamiento y supera la temperatura de ignición, es decir, cuando surge el fuego propiamente dicho, hacen su aparición los humos debidos a la combustión del carbón, que son fácilmente perceptibles.

También pueden llegar a oírse ruidos característicos debidos a la rotura o al desmoronamiento de estratos, aunque su identificación resulte más complicada.

Los fuegos ocultos son difíciles de diagnosticar. Los autoincendios se conocen porque en el lugar en que los gases encendidos producen un fuego abierto se crean exudaciones, o porque sale el olor característico a bencina-benzol por expulsión de hidrocarburos aromáticos del carbón calentado.

Pero a menudo faltan estos indicios o no se observan. Los puntos de exudación y el olor a bencina-benzol faltan cuando los gases ardientes se enfrían tanto en su recorrido que cuando pasan a la corriente de aire ya no se observa una condensación de agua y cuando los aromáticos se absorben por el carbón y el relleno. Los fuegos

ocultos sólo pueden reconocerse con seguridad por el desprendimiento de gases quemados.

En los días festivos los fuegos de mina, tanto abiertos como ocultos, invaden la mayor parte de las veces una gran extensión antes de que se descubran. Pero también en las minas en servicio debe establecerse una previsión para el precoz conocimiento de fuegos que sea ajena a sensaciones subjetivas para eliminar todo azar en su detección.

La aparición de vahos, la condensación de vapor de agua sobre el sostenimiento, el olor a fuego, el gusto característico de un olor a pirólisis, seguido de humos más espesos cargados de alquitrán y olor más agrio, señalan que un calentamiento, que incuba sin lugar a duda desde hace varias semanas, ha franqueado ya el umbral de la irreversibilidad. La aceleración del fenómeno es entonces cierta y algunas horas más tarde, el incendio puede llegar a ser grave.

Por tanto, las observaciones visuales u olfativas no pueden detectar el nacimiento de un calentamiento. Una detección aún más precoz reposa sobre la búsqueda del monóxido de carbono, cuyo desprendimiento es sensible a la baja temperatura y aumenta cuando la temperatura se eleva; otros métodos permiten verificar la realidad de la alerta y localizar el calentamiento.

- Inspección térmica:

Las medidas de aumento de temperatura, como es normal en el almacenamiento de materiales con peligro de inflamación espontánea, se excluyen para la detección precoz de los fuegos por autoencendido del carbón en el interior, ya que no es posible, por este medio, una vigilancia del hundimiento.

Sólo en casos especiales con el carbón que se derraba en yacimientos inclinados y con un calentamiento ya detectado podrían descubrirse fuegos ocultos rápidamente

a través de aparatos de medida de la temperatura (figura 59).



Figura 59. Sonda de temperatura

En lugares particularmente peligrosos donde se encuentran máquinas, se puede aportar un aumento de seguridad mediante unas guardias térmicas que con la elevación de temperatura supriman el accionamiento o desencadenen automáticamente mecanismos de apagado.

También son posibles medidas de temperatura en corrientes de aire, pero sólo permiten (lo mismo concentrando puntos de medida) una detección del incendio con la expansión progresiva del fuego.

La medida de temperaturas puede ser prevista para vigilar zonas críticas, en un macizo o en montón desprendido accesible por sondeos o canalizaciones abandonadas detrás del tajo; ella puede a veces dar la alerta más rápidamente que la búsqueda de monóxido, principalmente en caso de fuegos de macizos o de parámetros sobre las entradas de aire.

Para un control a distancia se utiliza más frecuentemente un termopar (hierro) y, a veces, una resistencia de platino cuyo valor es medido en el puente Winston; las

precauciones requeridas para su puesta en obra y su coste no permiten generalizar estos métodos y dar sistemática a su utilización.

La medida de temperaturas de superficie permite localizar un foco de calentamiento que podría situarse en la proximidad de una pared; se dispone:

- De termómetros de infrarrojo, que realiza la medición a distancia sobre superficies visibles de temperaturas de 10 a 60 °C.
- De cristales líquidos, utilizados bajo canalización plástica en la mina, que cambian de color con la temperatura dada: existe para diferentes temperaturas espaciadas de 4 en 4 grados entre 30 y 50 °C.

- Análisis del aire de la mina:

La posibilidad más segura y sencilla para detectar de modo admisible y precoz los fuegos de mina abiertos y cerrados es la vigilancia del contenido en gases de combustión de las conducciones de aire.

Los productos gaseosos generados durante el calentamiento del carbón pueden desplazarse fácilmente hasta zonas alejadas del foco del calor debido no ya sólo la ventilación, sino también a las corrientes convectivas engendradas por las corrientes térmicas.

En consecuencia, un análisis de los cambios de la composición del aire de la mina puede ser muy útil para detectar autocalentamientos, así como para fijar el grado de progreso de los mismos (figura 60). Para ello, es imprescindible conocer perfectamente la composición del aire de la mina en condiciones normales.

Algunos de los métodos de análisis más corrientes se basan en la detección de gases emanados como consecuencia del calentamiento; tal es el caso del monóxido de carbono o de algunos hidrocarburos no saturados. Otros se basan en la disminución

del porcentaje de otros gases, como es el caso del oxígeno y la disminución del CO emitido en los instantes iniciales como consecuencia de la evolución de un fuego.



Figura 60. Detección de gases mediante tubos colorimétricos

Finalmente, hay métodos basados en la medición de proporciones relativas de algunos de los gases presentes, como es el caso de las relaciones CO/O_2 , CO/CO_2 y CO/H_2 .

12.2.2 El desprendimiento del monóxido de carbono

En la combustión del carbón se originan dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y calor. La valoración de más de diez mil análisis de gases de combustión que se tomaron por la Central de los Servicios de Salvamento Minero de Essen en diferentes fuegos de minas, indica que, independientemente de la cantidad de aire y del tipo y cantidad de material combustible, en los fuegos de mina abiertos el contenido de monóxido de carbono en el aire quemado se relaciona con su contenido de dióxido de carbono en la proporción 1:10, es decir en los fuegos de mina se queman diez partes del carbono existente hasta dióxido de carbono y una parte hasta monóxido de carbono. Según comprobaciones de RHODES y SMITH en Reino Unido en los

ensayos con prototipos en fuegos de mina la relación CO: CO₂ en los fuegos del prototipo se sitúan en su estado inicial en 1:1,5 y en el transcurso del fuego en 1:5.

En los ensayos técnicos de fuego y en los fuegos de mina reales no se ha estudiado hasta ahora la madera en el combustible. En las explotaciones este comportamiento, verosímilmente sólo debe esperarse con grandes espesores de combustible (particularmente en los fuegos en carbón) y velocidades de aire sólo pequeñas. En la exposición que sigue se puede adoptar por tanto la relación CO: CO₂ = 1:10.

A causa de la gran cantidad de dióxido de carbono que se forma, este gas, en principio, debería seleccionarse como indicador de los fuegos de mina.

Pero en su contra hay tres razones:

1. El dióxido de carbono es muy soluble en agua. 1.000 cc. de agua disuelven, a 293 K, 878 cc. de CO₂; por el contrario, en 1.000 cc. de agua sólo se disuelven 23 cc. de monóxido de carbono. Los pozos de ventilación casi siempre están húmedos, y los gases quemados de los fuegos de autoencendido, la mayor parte de las veces, pasan por rellenos o por rocas húmedas. Además, en muchos fuegos de mina entran en acción automáticamente dispositivos de apagado con agua. De esta manera, se lavaría una gran parte del dióxido de carbono originado en la combustión.

2. El dióxido de carbono del aire de las minas proviene, además de los fuegos de mina, de las siguientes causas:

a) Del ocluido en las rocas y hundimiento, originado en la carbonización, por causas volcánicas o por oxidación (las cantidades pueden ser considerables y, al reducirse la presión del aire, puede aparecer aumentado el contenido en dióxido de carbono).

b) Por la respiración humana: un hombre produce, en un rendimiento de trabajo medio, aproximadamente 1,5 litros de CO₂/minuto, cediendo 1.000 hombres 1.500 litros de CO₂/minuto.

- c) Por oxidación lenta en las explotaciones mineras abiertas.
- d) Por descomposición bacteriana y putrefacciones
- e) Por el funcionamiento de las máquinas de combustión.

Las causas de la formación de monóxido de carbono, aparte de los fuegos de mina, son esencialmente el funcionamiento de las locomotoras Diesel y el trabajo con voladuras.

3. Si se considera la acción toxicológica del dióxido de carbono y del monóxido de carbono, se comprobaría que el dióxido de carbono, es peligroso en el aire a partir del 3 a 4% en volumen y es mortal desde 8% en volumen. A partir de estos datos, se deduce incluso que el límite tóxico se sitúa en el 0,2% en volumen.

Así, desde el punto de vista de la seguridad, todo inclina a la elección del monóxido de carbono como indicador de fuegos de mina.

Magnitud de las cantidades de monóxido de carbono desprendidas

De datos reales se deduce que el desprendimiento de monóxido de carbono en los fuegos ocultos es extraordinariamente pequeño en el estado inicial de su nacimiento. Según estas experiencias la cantidad de monóxido de carbono desprendido puede representarse por una curva que asciende casi horizontalmente; por tanto, el fuego de autoencendido se desarrolla mucho más lentamente que un incendio o un fuego abierto. Antes de que aparezca olor a fuego o humo, la cantidad de monóxido de carbono alcanza valores que se detectan incluso con la gran dilución que causa la corriente de aire; existe, por tanto, peligro para el personal desde el principio.

Consideraciones teóricas dan un mismo orden de magnitud para la formación de monóxido de carbono en fuegos de minas. Suponiendo que se quemen por minuto 11 kg de carbono de los que 10 kg se oxidan a CO_2 y 1 kg a CO , se originan por minuto 2,3 kg de CO , o sea, la considerable cantidad de 2.000 litros de CO . 1,1 kg. de carbono suministran todavía 200 litros de CO /minuto. Esto significa en la explotación, que en un minuto se

liberan 200 litros de CO cuando se queman 2,75 kg de madera, que contiene aproximadamente 40% de carbono, o 1,45 kg de carbón, que contiene 75% de carbono. En los fuegos de mina son de esperar en el estado inicial las siguientes cantidades de monóxido de carbono: en fuegos abiertos, después de 2 a 3 minutos, más de 100 litros de CO/minuto, en fuegos ocultos de 10 a 20 litros de CO/minuto. Estas cantidades de gas se diluyen con la ventilación como indica la figura 11.1. Dividiendo por 10 las cantidades de aire consignadas en las ordenadas, y multiplicando el contenido de CO en % en volumen también por 10 se obtiene fácilmente con la misma gráfica el contenido de monóxido de carbono a esperaren cantidades pequeñas de aire, para iguales cantidades absolutas de CO (ver figura 61).

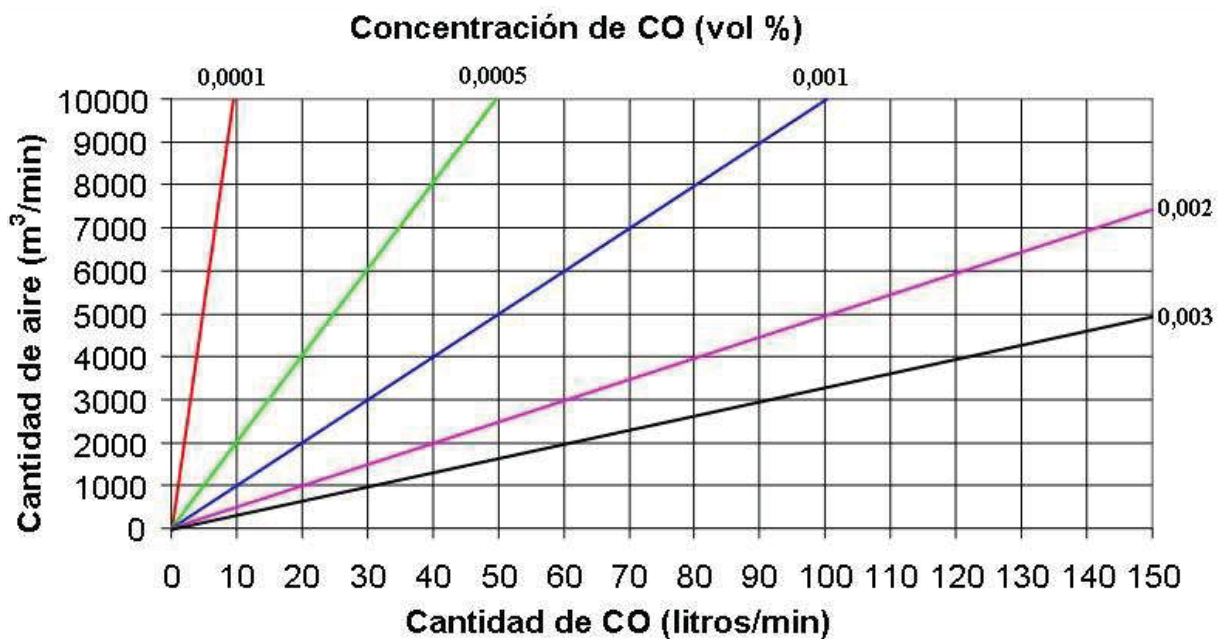


Figura 61. Concentración de monóxido de carbono en el aire de la mina dependiendo de las cantidades de monóxido de carbono y aire.

A partir de las experiencias obtenidas en la explotación y en los ensayos se deduce que en fuegos en los que participan carbón, aceite o goma se origina todavía más óxido de carbono. En los ensayos de fuegos previstos en condiciones técnicas se ha confirmado la relación de magnitudes citada $CO: CO_2 = 1 : 10$.

El monóxido de carbono en las minas se origina además de en los fuegos de mina, en las explosiones de grisú y de polvo de carbón, aparte de en las locomotoras Diesel y en el trabajo con barrenos. Una locomotora Diesel de 60 CV aporta aproximadamente 6 m³/minuto de gases de escape cuyo contenido en monóxido de carbono no debe sobrepasar 0,12% en volumen = 1.200 p.p.m. Ello corresponde, para una regulación de la máquina de 0,18% de CO en volumen, a una producción de 6 litros/minuto, por tanto con diez de estas locomotoras a 60 litros/minuto. En caso de que una locomotora viaje casualmente durante largo tiempo en la dirección del aire y con su misma velocidad, puede esperarse pasajeramente grandes enriquecimientos.

La formación de monóxido de carbono en el trabajo con barrenos depende abiertamente del tipo y envase del explosivo así como del material que se encuentra en el tiro. Los tiros en bordes, así como los que dan bocazo y deflagrantes, posiblemente suministran más monóxido de carbono. No existen hasta ahora investigaciones minuciosas sobre la cantidad de estos gases obtenida por kg de explosivo. Según las investigaciones en la Unión Soviética la cantidad de gases desprendidos con los explosivos allí empleados asciende de 5 a 20 litros de CO/kg.

Se ha mostrado además que, en determinadas condiciones meteorológicas, llegan a la mina, en el aire que entra, pequeñas cantidades de monóxido de carbono. La figura 62 muestra un par de medidas encontradas a lo largo de un día, que permiten conocer que el contenido de CO se sitúa temporalmente por encima de 10 p.p.m. Las máquinas de combustión, fuegos, fábricas metalúrgicas y coquerías aportan conjuntamente una tara al aire de entrada que, por ejemplo, en Essen puede alcanzar 10 p.p.m. y aún más. Según la posición geográfica de cada pozo de entrada de ventilación y según las condiciones climáticas es así, totalmente posible que ya lleguen a la mina con la corriente de aire fresco contenidos de CO de 10 a 20 p.p.m. = 0,001 a 0,002% en volumen. Esta posible tara o carga previa debe tenerse en cuenta al utilizar el monóxido de carbono como indicador para fuegos de mina.

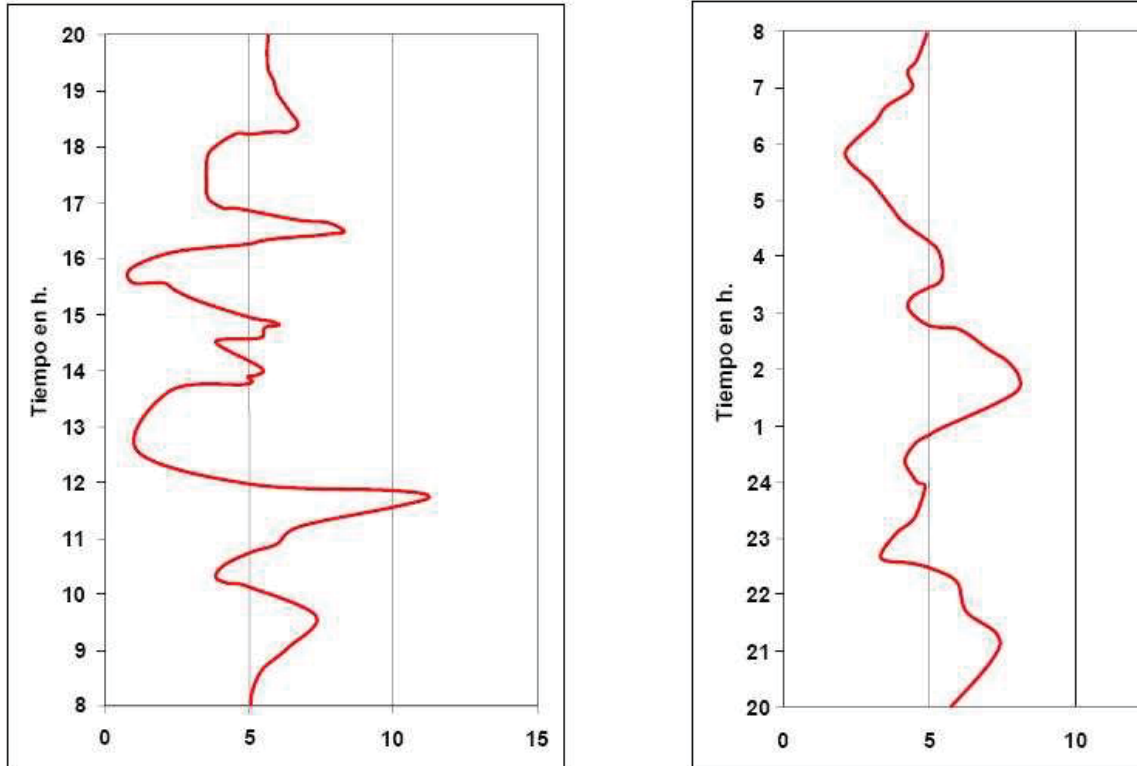


Figura 62. Concentración de entrada de monóxido de carbono en el aire exterior en Essen-Kray el 19 de septiembre de 1961

Posibilidades de empleo del registrador de monóxido de carbono

Para los fuegos ocultos difíciles de reconocer, un medidor de CO en la corriente de salida principal ofrece la mayor ventaja, ya que concentraciones peligrosas como 0,1 m³/minuto en 100 m³/minuto, tolerable en una mina en servicio, se denuncian aún con una dilución a 10.000 m³/minuto. Por el tiempo de retención del aire en la explotación minera puede retrasarse esta señal según la situación del punto de fuego entre 20 y 40 minutos. De esto se deduce que concentraciones de monóxido de carbono peligrosas que provienen de fuegos de mina ocultos, y de fuegos de mina abiertos en la etapa inicial de su evolución, pueden reconocerse segura y oportunamente, incluso en minas desocupadas, con aparatos de medida adecuados para la vigilancia de la corriente principal de salida. Las pruebas olfativas y vigilancias de incendios deben cambiarse, por ello, por aparatos de registro continuo en la corriente de salida principal; simultáneamente se aumentan las perspectivas para el oportuno

conocimiento de concentraciones peligrosas de monóxido de carbono y de fuegos abiertos. Tampoco serían ya necesarios los reconocimientos de huellas de fuego con aparatos de medida portátiles para el conocimiento precoz de fuegos de autoencendido, si se instalan registradores de CO en las corrientes de aire parciales.

Requisitos del registrador de monóxido de carbono

Para los aparatos que se utilizan en la vigilancia continuada del monóxido de carbono en la corriente de aire han de establecerse varias condiciones. La exactitud de medida debe ser de tal magnitud que aún pueda indicar cantidades relativamente pequeñas de monóxido de carbono, incluso con fuertes diluciones por la corriente de aire. Después de la experiencia expuesta, es necesario, por ejemplo, que 100 litros de CO/minuto se señalen aceptablemente con una dilución a 10.000 m³/minuto. La exactitud de la medida debe llegar, por lo menos, a 10 p.p.m. ó 0,001 % en volúmenes de CO, si el aparato debe vigilar, en la corriente de salida principal con cantidades de aire de 10.000 m³/minuto, fuegos abiertos y concentraciones peligrosas de monóxido de carbono de fuegos ocultos adelantados.

El rango de medida debe, para ello, no sobrepasar las 300 p.p.m. y la exactitud de la medida debe ascender al 3% del valor final, o sea, a 9 p.p.m. Esta exactitud de medida es necesaria a causa de la pequeña cantidad de monóxido de carbono que se origina al comienzo de fuegos ocultos incluso en la vigilancia de corrientes parciales.

Para la vigilancia en corrientes parciales de fuegos de mina abiertos y de concentraciones peligrosas basta, incluso tomando en consideración las variaciones de la contaminación previa general con monóxido de carbono, una exactitud de 30 p.p.m. y una sensibilidad correspondiente de 10 p.p.m.

Los aparatos deben permitir además un control y registro remoto del valor de medida. Los aparatos indicadores o registradores deben estar provistos de un

conmutador del valor límite, que accione un dispositivo de alarma para una determinada concentración de monóxido de carbono.

Los aparatos medidores, indicadores y registradores deben ser adecuados para un funcionamiento duradero y con poco entretenimiento. La deriva del cero y de la sensibilidad no deben sobrepasar en una semana 3 p.p.m. y la exactitud de la medida no debe alterarse por influencias perturbadoras como polvo, humedad y otros gases. Posibles influencias perturbadoras deben poder eliminarse con medidas sencillas. Los aparatos para el servicio de interior deben además ser antigrisú y fáciles de transportar. El tiempo para la indicación, es decir, el tiempo de medida, debe ser lo más corto posible para que pueda transmitir la alarma oportunamente (figura 63).



Figura 63. Detectores de metano y monóxido de carbono

Después de la aparición de un fuego, la concentración de monóxido de carbono del aire puede sobrepasar el valor límite del medidor. Los aparatos que han de servir para la vigilancia de zonas de fuego de la mina, aparte de la detección precoz de fuegos, deben permitir la conmutación con un campo de medida de mayor amplitud.

En los aparatos debe vigilarse el estado de servicio de la instalación de transporte del aire por los dispositivos correspondiente. También debe poder apreciarse un fallo del aparato o por interrupción de la alimentación de corriente o de la conducción de la

medida, así como por desajuste en el registrador del cero mecánico y el cero eléctrico. El empleo de registradores con cero "vivo" y segundo conmutador de valor límite en el cero mecánico da la garantía de que se acciona la alarma no sólo con el aumento de la concentración de monóxido de carbono sino aún con el fallo del emisor o de la conducción de medida.

En la transmisión del valor de medida se recomienda, para facilitar el contraste del emisor, tener también en éste una escala de medida.

Eliminación de falsas alarmas

La alarma resulta en general de la aparición de un contenido en óxido de carbono considerado como anormal.

En ciertas minas, el CO en el interior no se produce más que por la oxidación del carbón; es entonces posible fijar el umbral de alarma a un nivel muy bajo, de algunas p.p.m., que basta corregir eventualmente teniendo en cuenta los contenidos en monóxido a la entrada de la mina.

Pero en muchas minas, producciones abundantes de CO resultan del uso de explosivos, de las actividades de soldadura, del uso de oxiacetilénico y del funcionamiento de motores diesel. Es necesario, por tanto, eliminar las falsas alarmas que no corresponden a un calentamiento o, al menos, reducir razonablemente el número de ellas. A este efecto:

Puede ser suficiente elevar el umbral de alerta, a costa de una evidente pérdida de sensibilidad.

Se puede pensar en buscar óxidos de nitrógeno al mismo tiempo que el CO, la dificultad es que su contenido varía rápidamente cuando se aleja del punto de

emisión; a pesar de las interesantes investigaciones en este aspecto el método no se ha desarrollado.

Se puede llevar a cabo un tratamiento informático de los datos, basado sobre el análisis estadístico de su evolución en el tiempo.

El análisis de la forma de las curvas de evolución no ha desembocado sobre métodos operacionales.

En las Hulleras del Basm de Lorena, al menos en los yacimientos donde las voladuras son muy numerosos, la situación es considerada como normal si el contenido en CO vuelve a ser periódicamente igual a un valor de base que corresponde a la ausencia simultánea de calentamiento, a las voladuras y a los humos de motores diesel; este es el criterio de la aparición de ventanas en la curva de evolución; la alerta resulta de la ausencia de ventanas durante un cierto tiempo.

12.2.3 Detección mediante otros gases indicadores

Las falsas alarmas provocadas por los diversos medios de producción de CO obligan a la búsqueda de otros gases que también indiquen la existencia de un autocalentamiento. Los gases detectores deberán ser los que se producen en la oxidación. Estos son; etileno, propileno, CO₂, acetileno y acetona.

El etileno se desprende un poco más tarde que el óxido de carbono, y es denunciante para las temperaturas de 348 K a 448 K siguiendo el tipo de carbón. Su presencia en la atmósfera de la mina, así como la del propileno, indica entonces que el calentamiento es real y que la temperatura se eleva. El etileno tiene un límite de detección de 1 p.p.m. y el propileno de 0,3 p.p.m.

Comparando el acetaldehído con la acetona, el acetaldehído se produce antes, pero su límite de detección es mayor por lo que tiene un nivel similar en su función de

indicadores. El límite de detección del acetileno es 0,5 p.p.m. y de la acetona 0,1 p.p.m.

El CO₂, es un buen indicador, pero hay dificultades técnicas para la fabricación de detectores. Su límite de detección es 0,1 p.p.m.

El etileno, y el propileno no se pueden detectar durante un calentamiento en zonas de ventilación principal ya que diluyen hasta unas concentraciones que no se pueden captar, en cambio se detectan en calentamientos producidos en el relleno.

12.2.4 Detección de fuegos mediante gas radón

La detección de la zona de la mina y la amplitud del fuego es una de las llaves para la extinción de un fuego en mina. Uno de los métodos para realizar esto es mediante el gas radón.

Los elementos radiactivos naturales como el uranio 238, el torio 232 y el uranio 235 tienen una vida media muy larga alrededor de $7,04 \times 10^8$ años. En su proceso de desintegración estos elementos se transforman en radón 222 y sus isótopos, el torio y el actinio. El radón es el único que está en estado gaseoso.

Este gas, en movimiento desde el interior de la tierra hasta la superficie, sufre cambios que revelan información de los distintos estratos. En su desintegración, el radón emite una partícula α para convertirse en el elemento RaA, y éste a su vez, emite otra partícula α para convertirse en el elemento RaB.

La densidad del radón se puede obtener mediante la medición de las partículas emitidas en el proceso de su desintegración del radón y del RaA. La vida media del radón es de 3825 días y la del RaA 3.08 minutos.

Según estudios realizados en el Colegio de Minería de Shanxi en China, la velocidad del movimiento ascendente del radón es mayor en una zona donde existe una fuente de calor en el interior, que en aquella donde las condiciones geológicas son similares, pero sin que exista fuente de calor. Por lo tanto, la densidad del radón es mayor en la superficie que se encuentre por encima de la zona de interior en la que existe un fuego.

Para conocer la densidad del radón existen dos métodos: la medición instantánea del radón y la medición integral del radón. En el primer método se mide la intensidad de los rayos α emitidos por el RaA en el proceso de desintegración del radón durante un periodo de unas 4 horas. Y en el segundo se miden directamente las intensidades de rayos α , pero durante un periodo más largo. Experimentalmente se comprobó que en ambos métodos de medición se detectan aproximadamente las mismas zonas.

12.3 Detección de incendios en explotaciones mineras en general

Observación de los síntomas físicos

Los síntomas físicos inequívocos para la detección de fuegos son: elevación de la temperatura, humo gases de combustión, llamas y radiación infrarroja.

En las minas en servicio y cuando la separación entre el personal y el punto de fuego no es demasiado grande, los fuegos de mina siempre se detectan a tiempo por la aparición de llamas o incandescencias.

Después sobreviene también con el humo, el típico olor de incendio. El olor a fuego de la madera viene de la descomposición y desgasificación de la madera, lo que origina sustancias empireumáticas (ácidos grasos inferiores, ácido acético, formaldehído, alcoholes, fenoles y otros) que, con una concentración alta de aire, actúan irritando las mucosas y particularmente los ojos. También es conocido el

característico olor de la combustión lenta de la goma. Pero el olor del carbón ardiendo se conoce muy difícilmente y sólo cuando el aire tiene un contenido alto en gases quemados. Sin embargo, en fuegos abiertos, por lo general, existe madera en forma de punteros, pasantes y sobre todo en entibaciones (figura 64). Por ello, la mayor parte de los fuegos de una abiertos en las minas en servicio se detectan pronto y se apagan correctamente.

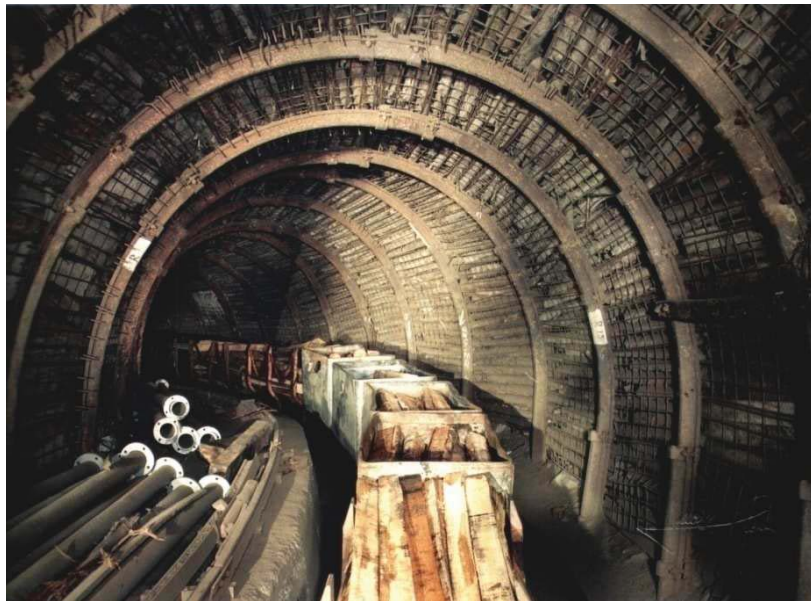


Figura 64. Revestimiento de madera

- Detección directa a simple vista

El incendio es detectado inmediatamente en un aparato, que puede ser portado por la persona o se encuentra en la proximidad de ella. A partir de ese momento se procede de la siguiente forma:

- Si varias personas lo descubren, una de ellas debe dar inmediatamente la alerta.
- Si es una única persona, debe dar la señal de alarma si considera que no puede apagarlo con los medios de los que dispone.

El problema se plantea para las instalaciones aisladas con ausencia de personal se puede resolver más o menos bien, por un cierto número de dispositivos de vigilancia, que existen o que están en curso de desarrollo.

Estos dispositivos pueden ser:

- Dar la alerta, con una localización más o menos precisa del foco.
- U ordenar la puesta en funcionamiento de ciertos medios de extinción para la protección de ciertos puntos peligrosos fijos o motores.

La vigilancia de grandes transportadores, tanto más peligrosa si funcionan a menudo sin personal y en las entradas de aire, permanece, no obstante imperfecta. Puede ser necesario reforzarla con un control visual llevado a cabo por patrullas equipadas de radio-teléfonos, pudiendo detectar en él, con menor demora, toda anomalía de funcionamiento y llevar allí una solución.

- Detección por control de la temperatura

Los fusibles y bombillas de brillo son dispositivos poco costosos, sensibles a la elevación de temperatura moderada (323 K), colocado, por ejemplo, en locales o en zonas sensibles (garajes de locomotoras, estaciones de distribución de fuel), en el tambor de arrastre de las cabezas motrices, bajo el capó de los motores diesel, y pueden dar alerta (parada de motor) o activar depósitos de extinción.

El funcionamiento de hilos termosensibles está basado en el deterioro del aislamiento de un cable de dos conductores, el cortocircuito que resulta de ello, en un circuito que puede ser de seguridad intrínseca, genera una señal que puede ser utilizada para la alerta o el accionamiento de los dispositivos de extinción.

Los hilos termosensibles son principalmente utilizados para la protección de puntos fijos, por ejemplo, un tambor de cabeza motriz; pueden serlo igualmente para la protección lineal de transportadores.

Los termómetros de infrarrojos detectan una fuente cálida que se sitúa en una línea de visión directa, bajo reserva que la señal no sea interceptada por un capa de polvo; mucho más costoso que los aparatos precedentes, no son utilizados para la vigilancia de puntos fijos, sino en forma de aparatos portátiles, y pueden ser empleados para detectar y controlar puntos cálidos de las instalaciones y máquinas, así como la temperatura superficial de los terrenos (figura 65).



Figura 65. Detectores de Temperatura

Los termostatos de dilatación pueden ser colocados principalmente en las cabezas motrices y las estaciones de reenvío, para activar la alerta o poner en marcha los mecanismos de extinción.

- Detección por control de la atmósfera

Toda combustión desprende monóxido de carbono. Las redes de telemetría de CO por analizador UNO, actualmente muy desarrolladas, pueden servir para la detección de un incendio, a condición de que el retardo a la información sea muy reducido.

- Un analizador unidireccional en la proximidad de un punto de captación detecta tanto más rápidamente el desarrollo de un incendio cuanto que está más próximo, pero el material (canalizaciones de deducción, analizadores, circuitos de transmisión de la información al registrador) corre el riesgo de ser destruido rápidamente por los humos.
- Para la protección del transportador de banda, un analizador de dos vías, analizando el aire hacia atrás y hacia delante de la instalación, permite una detección precoz y una eliminación de la mayor parte de las falsas alertas, por un tratamiento simple de datos que no tiene en cuenta más que el óxido de carbono efectivamente producido en la galería a proteger.
- Un analizador unidireccional en el pozo de retorno de aire, al abrigo de los humos, es susceptible de detectar un incendio por una variación significativa del contenido de monóxido de carbono (de algunas p.p.m.), pero sin poder localizarlo y con un retardo tanto más largo cuanto más alejado está.

13 LUCHA CONTRA FUEGOS E INCENDIOS

13.1 Evacuación del personal

Si un fuego de pequeñas dimensiones es controlado rápidamente y extinguido, este acto de control previene que ocurra un fuego mayor. De la misma manera, si se detecta y disipa una acumulación de gas inflamable a tiempo, puede prevenirse una posible ignición.

Cuando se detecta y se informa de un fuego en una obra subterránea, la gestión tiene inmediatamente dos prioridades; la evacuación y el control.

Existen tres elementos principales necesarios para un buen procedimiento de evacuación; aviso a tiempo, un refugio conveniente o sitios de seguridad donde acudir si no es posible evacuar inmediata y completamente, y un autorrescatador individual por si existiera una atmósfera nociva de camino al refugio o al lugar a salvo.

Aviso a tiempo

Hoy por hoy, no existe un método práctico para proporcionar a todo el personal un aviso por adelantado del alcance de los productos de combustión, independientemente donde se produzca el fuego. Un caso relacionado que podría postularse sería la toma de gases de un fuego producido en las secciones de producción sincronizadas con un detector de fuegos (de cualquier tipo) y, posteriormente, enviadas unas señales instantáneas antes de las alarmas de las secciones de producción; sin embargo, dicho aviso (en términos de tiempo) no podría ser enviado a partir de los fuegos producidos en otros lugares.

Allí donde los detectores de CO personales estén distribuidos entre los trabajadores, estos instrumentos deberían tener la posibilidad de estar instalados a dos alarmas, una más baja y otra más alta, o, si se utiliza la capacidad de los instrumentos en la instalación de una sola alarma, deberán distribuirse dos de ellos para cada grupo de trabajadores. Un detector estaría instalado a la alarma del nivel bajo y la otra a la del nivel alto.

Deberá tenerse cuidado a la hora de instalar los niveles de la alarma, particularmente la alarma más baja. Si los gases de combustión del diesel o los humos de pequeñas llamas causan que la luz de aviso fluctúe entre el encendido y el apagado, el nivel de la alarma será demasiado bajo (o hay algún fallo en el sistema de ventilación).

Según los estudios, una persona podría trabajar a una concentración de 100 ppm durante dos horas sin tener un dolor de cabeza. Cuando se alcanza la alarma más baja, el trabajo deberá pararse y los trabajadores deberán dirigirse al lugar de espera. Los directivos de la obra subterránea, el supervisor y el jefe de la galería serán informados y se analizarán las concentraciones usando un instrumento de medida. Si el nivel de CO continúa ascendiendo, su ratio de aumento deberá ser contabilizado en tiempo y notificado al encargado. A partir de entonces, el director ordenará el comienzo de la evacuación.

Si la alarma más alta fluctúa, la evacuación deberá comenzar, utilizando los trabajadores sus autorrescatadores. El límite de la alarma más alta deberá establecerse en 400 ppm. Éste es el llamado Límite de Exposición a Corto Plazo al cual las personas pueden estar expuestas, en el curso normal de su trabajo, durante cuatro cuartos de horas separados durante las ocho horas de trabajo, teniendo en cuenta que el Peso Medio en el Periodo de Exposición para la capa entera no excede de 50 ppm. Este es, simplemente, un procedimiento sugerido, ya que procedimiento adoptado obviamente tiene que ser prescrito por el director de la obra subterránea. Obviamente si se detecta un fuego por el olfato u otros indicadores físicos, debe procederse a la retirada inmediatamente.

Si se utiliza el autorrescatador demasiado pronto o demasiado tarde la oportunidad de supervivencia de una persona puede ser afectada de forma adversa.

Un sistema de aviso basado en un equipamiento electrónico, fijo o portátil, puede trabajar satisfactoriamente sólo si se toman medidas de mantenimiento y escalas de calibración meticulosas.

a) Refugios o lugares seguros

El lugar más seguro, que podría ser elegido por el personal, sería la superficie, o, al menos, el pozo de entrada a la capa con acceso a la superficie (figuras 66 y 67).



Figura 66. Refugio de mina con teléfono y autorrescatadores

Si no existe una salida directa de corta distancia en cualquier punto de la obra subterránea a la superficie desde el lugar de trabajo, debe optarse por lugares de refugio dotados con autorrescatadores con carga de oxígeno para larga duración. Allí donde la profundidad y la naturaleza de la superficie del terreno lo permitan, se realizará un barreno desde la superficie hacia el refugio. En muchos casos un barreno comparativamente pequeño (100 mm- 150 mm de diámetro) es capaz de suministrar la ventilación adecuada a los ocupantes de un refugio.

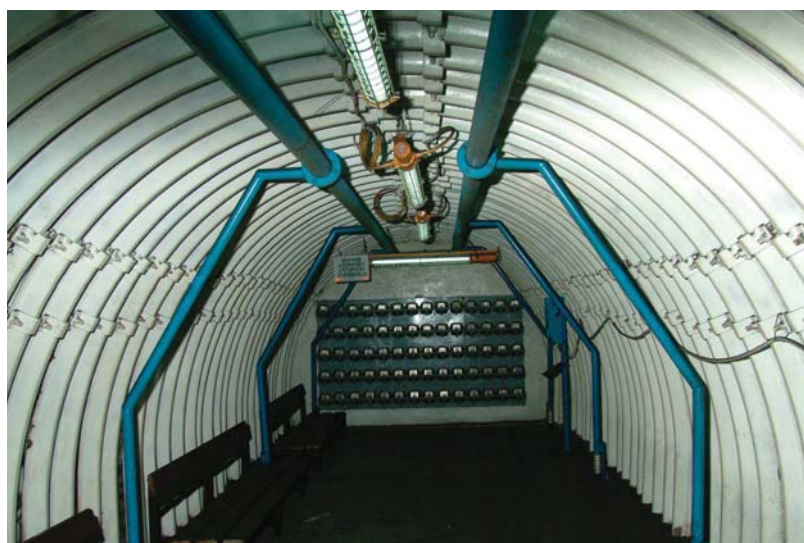


Figura 67. Refugio de mina. Tuberías de aire comprimido para asegurar el caudal de aire limpio

Las chimeneas de ventilación estarán siempre sometidas a una corriente de aire descendente bajo la influencia de los sistemas de ventilación de la obra subterránea convencionales, y los refugios se mantendrán frescos. Las corrientes de las chimeneas de ventilación serán suficientes como para satisfacer las necesidades de toda el espacio del refugio y deben ser reforzadas por un ventilador o un fuelle cuando el refugio se encuentre en uso.

Puede instalarse una sirena y una luz intermitente a la entrada del refugio cuando la visibilidad sea mala, de manera que el personal pueda encontrarlo fácilmente.

Como regla general los lugares de refugio deben estar situados en las rutas tomadas por la mayoría de los trabajadores para salir de la mina en el curso normal de sus actividades. En emergencia, pueden dirigirse hacia el refugio en vez de ir hacia la salida de la mina como harían en una situación normal.

Sin embargo, deberá existir un acceso entre la entrada y salida de personal adjunto a cada refugio, de manera que un trabajador que se encuentre en el camino equivocado no tenga que deshacer el camino para llegar a un lugar de refugio.

Una de las desventajas de usar las cargas de oxígeno de larga duración en vez de lugares de refugio es la complicación que supone para los trabajadores tener que cambiar el conjunto del cinturón gastado por otro de larga duración. Esto se haría en una atmósfera irreparable y, mientras pueda hacerse de forma segura, no hay lugar a error.

b) Rutas de escape

En los incidentes más recientes, han existido ocasiones de desorientación total experimentada por la gente cuando se enfrenta a un suceso real. El entrenamiento que reciben no les ha preparado para la visibilidad pobre, la desorientación y el pánico.

Las rutas de escape, una vez diseñadas tras un cuidadoso estudio y reflexión, deben ser marcadas de manera que puedan ser distinguidas en una visibilidad pobre (figura 68) . La superficie de una mina de cámaras y pilares no permite llevar a cabo esto. El escape debe diseñar una intersección cada pocos metros, ya que será fácil tomar el camino equivocado en la oscuridad sin tener conocimiento de ello. Los escapes deben ser guiados por factores que puedan sentir u oír más que ver. Estos factores pueden ser cintas transportadoras y tuberías, y, de hecho, sería una opción utilizar las cintas transportadoras como rutas de escape. Podría proporcionarse una línea azul a lo largo de una cinta transportadora, con flechas indicadoras metálicas indicando la ruta.



Figura 68. Señalización con pintura reflectante y cuerdas de salvamento

Deben realizarse ensayos sobre el uso individual de luces y sirenas, de manera que puedan ser colocadas en las uniones de las cintas, y puedan guiar al personal hacia el recorrido de las mismas.

Otra opción sería la cuerda de salvamento, especialmente en casos en los que la ruta de escape se encuentra en un camino donde no existe ningún equipo específico identificable. Dicha cuerda deberá ser tal que en caso de escape pueda identificar la dirección correcta mediante los sentidos. Deberá estar a la altura de los muslos o la cadera de manera que pueda ser usado por la persona mientras camina, o en el nivel del suelo al agacharse o arrastrarse. Como bien se sabe, en un ambiente de humo, la visibilidad y el nivel de oxígeno es mayor cerca del nivel del suelo.

Cuando la ruta de escape no se encuentra en el mismo recorrido que el lugar de refugio, el escape puede prevenir sustancialmente la pérdida de la conexión con el refugio. Esto se llevaría a cabo colocando una pantalla a lo largo del camino, o si se utiliza una cuerda de salvamento, ésta debe colocarse en el punto exacto.

Las rutas de escape deben mantenerse libre de obstáculos tanto como sea posible y debe evitarse el deterioro en los techos. Un obstáculo puede ser colocado en situaciones normales con buena visibilidad, pero debe ser inmediatamente retirado cuando existe una visibilidad pobre o un peligro extremo.

Finalmente, para obtener buenos consejos prácticos sobre factores de diseño de las rutas de escape para personas con incapacidad de ver, podría acudir a institutos u organismos para ciegos.

c) Autorrescatadores (Paquetes de rescate)

El término genérico de *paquetes de rescate* fue adoptado para denominar al autorrescatador autónomo de cualquier tipo, el cual fue diseñado como elemento básico del equipo para toda persona que entra en una obra subterránea. El uso de los *paquetes de rescate* está integrado en la estrategia de escape, en los refugios u otros

lugares seguros deben estar al alcance del trabajador y dentro de los límites de protección alcanzados por el dispositivo del autorrescatador (figuras 69 y 70).



Figura 69. Autorrescatadores



Figura 70. Autorrescatador desmontado

Además, todas las brigadas contra incendios de las minas disponen de unos equipos de respiración autónoma de los que hacen uso cuando intervienen en un fuego o incendio de dimensiones considerables. (ver figuras 71 y 72).



Figura 71. Respiradores autónomos



Figura 72. Respirador autónomo desmontado

Cualquier tipo de *paquete de rescate* debe estar aprobado por el Director General y para ello debe haber pasado previamente un estricto protocolo de ensayo. En particular, debe ser sometido a ensayo para establecer la relación entre la duración y la velocidad de respiración, ilustrando dicha relación en una curva de diseño que debe pasar por un punto que define una duración de 30 minutos a una velocidad de respiración de 30 litros por minuto. Esta velocidad de respiración corresponde a una

velocidad en un trabajo moderado. Sin embargo, el estrés mental causado por el miedo, puede provocar que la velocidad de respiración aumente bastante con respecto a la del trabajo moderado, incluso cuando las condiciones físicas no demandaran tal nivel de trabajo. Otros factores que afectan a la velocidad de respiración son el tamaño corporal y el nivel de preparación física. Por ley, se requiere un procedimiento para asegurar la supervivencia a todo el personal. El mejor procedimiento es aquel capaz de que un individuo lleno de pánico y sin estar en forma sea capaz de estar a salvo antes de que su nivel de oxígeno se agote.

El oxígeno de un *paquete de rescate* puede ser generado químicamente o simplemente almacenado en el equipo de forma comprimida.

En un equipo de oxígeno químico, el usuario respira y expira en una bolsa sellada. El aire exhalado circula dentro y fuera de la bolsa a través de un cartucho de peróxido de potásico (KO_2), y el CO_2 y la humedad que procedente del aire exhalado reacciona con el KO_2 para producir oxígeno, lo cual condiciona el aire disponible para el usuario. El aire inspirado deberá contener no más de 2,5 % de CO_2 y más de un 21 % de O_2 . La cantidad de KO_2 está determinada por la velocidad de absorción de CO_2 . Se genera más oxígeno y aire del necesario, y el exceso de aire es expulsado por una válvula de escape. Las reacciones químicas producen calor que debe ser disipado para evitar que el aire inspirado sea demasiado caliente.

Este tipo de equipos no tienen partes móviles de alta precisión, y las inspecciones están limitadas a análisis visuales de la integridad con análisis en vacío ocasionales. Los equipos especiales deben ser usados para el entrenamiento, ya que el coste de la recarga de un equipo de KO_2 después de ser usado supone una alta proporción del coste original.

Los equipos de oxígeno comprimido también funcionan a partir de reciclar el aire exhalado del usuario. El oxígeno es suministrado a partir de un recipiente a presión con una válvula de suministro. El CO_2 del aire exhalado es absorbido por hidróxido de

litio en una unidad especial de absorción. El aire disponible debe ser deshidratado para evitar que sea intolerable aún cuando la temperatura del aire es generalmente menor que la del equipo de KO₂. El coste de la recarga de un equipo de oxígeno comprimido es mucho menor que un equipo de KO₂, y, además, contiene partes móviles de alta precisión. El contenedor de oxígeno es presurizado a 25000 kPa. La inspección y el mantenimiento es más costoso que en un equipo de KO₂.

El protocolo de ensayo y los campos de ensayo analizan muchos factores, incluyendo el diseño, facilidad de colocación y uso, facilidad de mantenimiento y durabilidad (ver figura 73).



Figura 73. Colocación del autorrescatador

Se han llevado a cabo muchos de los escapes satisfactorios por personas que han utilizado *paquetes de rescate* en un corto periodo de tiempo en la oscuridad total.

e) Entrenamiento

Todos los trabajadores serán entrenados para la colocación y uso de los *paquetes de rescate*, y se someterán a pruebas para asegurar que han alcanzado el nivel de conocimiento requerido. Además, se les mostrará donde se encuentra el lugar de refugio adecuado y serán instruidos, de acuerdo a una lista documentada, sobre qué hacer (o no hacer) cuando se encuentren allí.

Todos estos hechos, y más, deberán estar documentados en los procedimientos diarios de cada lugar de trabajo.

13.2 Control de fuegos

13.2.1 . Principios básicos de lucha contra un fuego

Para extinguir un calentamiento o un fuego es preciso detener la reacción de oxidación que ocasiona la combustión, siendo suficiente, para ello, destruir o anular uno de los tres elementos del "triángulo del fuego": combustible, oxígeno y calor.

1- Dilución del combustible

La dilución del combustible tiene un efecto importante en los fuegos, ya que la velocidad de propagación de la llama depende de la relación aire-combustible.

Un exceso de aire produce una dilución del combustible y, al mismo tiempo, aleja la mezcla inflamable de la fuente de combustión.

Si se diluye suficientemente en aire un combustible gaseoso, puede obtenerse una relación aire-vapor superior al límite superior de inflamación.

2- La eliminación o dilución del agente oxidante

La eliminación del agente oxidante, normalmente el oxígeno, se consigue aislando el fuego del aire mediante recubrimiento del primero. Puede efectuarse con medios físicos, o empleando agentes como el CO₂, espuma, etc.

Un procedimiento de eliminación del oxígeno es diluir su proporción en el ambiente mediante gases o vapores inertes que reduzcan el % del oxígeno presente, hasta lograr una relación aire-vapor inferior al límite inferior inflamabilidad.

Este sistema de extinción no tiene efectividad contra fuegos de combustión que aporten oxígeno a la misma.

3- La creación de atmósfera inerte

La creación de atmósferas inertes mediante gases o suspensiones de polvo, tienen un doble efecto enfriador. Por una parte, el normal debido a su calor específico y, por otra, el efecto de pantalla contra el calor creado por las llamas.

4- La extinción por eliminación del calor

El medio más efectivo para extinguir fuegos, sobre todo de clase A (combustibles sólidos ordinarios), es la eliminación del calor, enfriando el combustible. Tan pronto como se consigue, el desprendimiento de vapores combustibles decrece hasta quedar por debajo del límite inferior de inflamación y el fuego se apaga.

La efectividad de un agente extintor como medio enfriador, depende de su calor específico y latente. Cuanto mayor sean éstos, mayor será su poder enfriador.

Como gran parte del calor liberado por el fuego se transmite por conducción, convección y radiación, para enfriar el combustible sólo es necesario eliminar parte del total de dicho calor.

5- La extinción química

Se conoce el efecto extintor de algunos hidrocarburos halogenados (halones) y de algunas sales inorgánicas. Sin embargo, sus propiedades físicas no indican que sean particularmente adecuados para extinguir el fuego por alguno de los procesos ya expuestos, pues su efectividad es desproporcionada y no depende de las propiedades físicas.

Recientes investigaciones atribuyen esta efectividad a reacciones químicas entre el agente extintor y productos intermedios de la reacción en cadena que constituye la combustión. Estos agentes actúan como catalizadores negativos o inhibidores. La parte activa es el átomo del halógeno o el metal alcalino y la efectividad aumenta con el peso molecular del halógeno o del metal. Actualmente se encuentra en desuso por formar gases tóxicos.

La acción extintora del fosfato monoamónico, base de los polvos secos tipo ABCE (antibrasa), es mucho más compleja. A la supresión de las llamas se une una acción refrigerante debido al recubrimiento de la zona de combustión con ácido o anhídrido fosfórico, producidos por la descomposición del fosfato, que impiden continuar la combustión de las brasas.

13.2.2 Principales agentes extintores

Agua

Es el agente extintor más barato, eficiente, fiable y disponible. Tiene una capacidad de absorción de calor alta y se puede transportar fácilmente al lugar donde se encuentra el fuego para poder ser aplicada. Su mecanismo de funcionamiento se basa en enfriamiento y eliminación de oxígeno. Durante su utilización se transforma en vapor, extrayendo el calor latente del fuego enfriándolo y se expande por un factor de 1700, desplazando aire y reduciendo, por tanto, el contenido en oxígeno aproximadamente un 9 %.

Puede ser aplicado en forma de chorro o pulverizada. Empleando, para extinguir un fuego, 1 kg de **agua** a 288 K aplicado en forma de chorro pleno (hipótesis) y admitiendo que alcanza los 373 K, el calor absorbido será de 0,355 KJ. Pero si este mismo kg de agua se vaporiza, previa pulverización del **agua**, el calor absorbido será de dichas 0,355 KJ más 2,248 KJ de vaporización, que hacen un total de 2,77 KJ. Lo que representa que, con la pulverización del agua, el rendimiento extintor es 7,3 veces superior que con chorro pleno.

La cantidad de agua requerida dependerá del tamaño del fuego. Un fuego de una obra subterránea grande puede consumir del orden de 8,7 m³/min y necesitar mangueras de 15, 20 y 63 mm de diámetro (figura 74).



Figura 74. Manguera de agua dentro de la obra subterránea

La cantidad de calor absorbido es proporcional a la superficie específica del líquido. Así 1 litro de agua en forma esférica presenta una superficie de 0,048 m, si se pulveriza en gotas de 1 mm de diámetro medio, la superficie obtenida es de unos 6 m² (125 veces mayor) y, si el diámetro medio de las gotas se reduce a 0,1 mm la superficie total es de unos 60 m² (1.250 veces mayor).

Se ha encontrado que el diámetro óptimo de la gota está comprendido entre 0,35 mm y 1 mm conjugando el poder refrigerante con una buena capacidad de proyección, ya que las gotas han de ser lo suficientemente grandes para vencer la resistencia del aire, la gravedad y las corrientes de aire (corrientes de convección) producidas por el fuego, así como el posible viento reinante.

El agua es el agente extintor más efectivo para fuegos de clase A, pero no es efectivo para fuegos con combustibles líquidos que sean más ligeros que el agua, y puedan flotar en la superficie y puedan arder. El agua no ha de utilizarse en fuegos en equipos eléctricos, cuando los circuitos todavía funcionan. Los metales que arden reaccionan con el agua y pueden provocar que el incendio se intensifique. Igualmente el agua no es efectiva en fuego con gases inflamables, sin embargo, el agua es adecuada para enfriamiento en las inmediaciones de cualquier tipo de fuego y prevenir su propagación.

Las propiedades extintoras del **agua** pueden ser mejoradas mediante empleo de otros agentes que le confieren propiedades especiales que la hacen más apta para determinados fuegos. Tales de dichos aditivos son: anticongelantes, surfactantes y aglutinantes.

En efecto, una forma de conseguir el enfriamiento y, a la vez, disminuir los huecos abiertos en la capa en la zona de fuego es mediante la inyección de barros, especialmente si no se tiene acceso directo al foco de calor (figura 75).

Tiene la ventaja adicional de favorecer la consolidación de los pilares y protegerlos del fuego. La técnica es básicamente la misma que se usa al inyectar agua, sólo que hasta ahora se le añaden sólidos de pequeño tamaño (arena, cenizas) en una proporción tal que no quede ni muy espeso, para que pueda entrar en las fisuras y grietas, ni muy líquido, para que quede retenido. Una proporción adecuada puede ser de diez partes de agua por una de sólidos.



Figura 75. Sondeo entubado para inyección de agua en taller

En la figura siguiente, figura 76, se observa una demostración de un apagado de un fuego producido sobre maderas mediante un sistema de disparo a alta presión de agua y aire, aplicada dicha mezcla de forma interrumpida o “a bocanadas”.



Figura 76. Demostración de apagado con mezcla de aire y agua a alta presión

Otra posible solución para evitar la propagación de un fuego, especialmente si no abarca una extensión muy grande, es el empleo de ciertos agentes extintores líquidos, como son las disoluciones de algunas sales (NaHCO_3 , NaCl , NH_4Cl , CaCl_2 , NH_4 , 2HPO_4), pueden ser de tipo espuma, normal o de expansión, o pueden ser pulverulentos, como NaHCO_3 , KHCO_3 ó $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, o incluso la aplicación de sal directamente al fuego (figura 77).



Figura 77. Sal para extinción de incendios

Existen también extintores a base de derivados halogenados de hidrocarburos, llamados haluros, cuyo uso en la obra subterránea, y en concreto en mina, es prácticamente nulo debido a su elevado precio y a la posibilidad de formación de gases tóxicos.

Arena y polvo de roca

Estos materiales extinguen el fuego por sofoco. No tiene efecto enfriador pero no provocan ninguna reacción química peligrosa con los materiales que están ardiendo. No se puede aplicar en grandes cantidades y por tanto sólo son efectivos en fuegos pequeños de clase A, pero no de clase B. No deben de utilizarse sobre maquinaria, ya que, concretamente la arena es abrasiva. La arena puede utilizarse sobre metales que estén ardiendo y con el calor se transformará en sílice fundida que en ocasiones formará costras.

Espumas

Las **espumas** están formadas por un conjunto de burbujas de aire o gas producidas por agitación de soluciones acuosas y cuya densidad relativa es inferior a la del más ligero de los líquidos inflamables. Su efecto extintor principal se basa en la separación física entre el combustible y el aire.

Se dividen en espumas químicas y espumas físicas.

Espumas químicas

Se obtienen por reacción de dos soluciones, una ácida y otra alcalina. El gas producido, CO₂, lleva las burbujas de espumas. Normalmente, los compuestos empleados son sulfato de aluminio y bicarbonato sódico. Su relación de expansión oscila entre 7:1 y 16:1, esto es de 7 a 16 veces el volumen de las soluciones originales. Prácticamente

han caído en desuso, pues producen corrosión sobre los equipos o productos en que se aplican habiendo sido casi totalmente desplazadas por las espumas físicas.

Espumas físicas

La mezcla de un agente espumógeno con agua da origen al espumante, el cual, al incorporarle aire por medios mecánicos creando turbulencia, produce la espuma.

Observando la figura 78, puede distinguirse el cañón de espuma donde se realiza la mezcla de agua, procedente de una tubería, y el espumógeno.



Figura 78. Sistema extintor mediante espumas

Las proporciones de espumógeno/agua y espumante/aire para la formación de **espumas**, vienen definidas por el diseño y operación del equipo generador propiamente dicho, llamado también *proporcionador* en algunos casos. En la figura 79 se puede ver el modo de uso de un extintor de espumas.



Figura 79. Utilización de un extintor de espumas

Las **espumas** se clasifican en de baja, media y alta expansión, según coeficientes de expansión obtenidos (relación volumen de espuma/volumen de espumante). Las de baja expansión tienen un coeficiente de 5:1 hasta 25:1, las de media expansión de 30:1 hasta 1 50:1 y las de alta expansión desde 200:1 en adelante.

La espuma de baja expansión puede utilizarse para atacar directamente un fuego abierto. También puede utilizarse para cubrir los derrumbes con mampostería ardiente por debajo o para rellenar pasos donde el material que arde es inaccesible.

Las espumas de expansión media se pueden aplicar directamente a los fuegos y para rellenar áreas mayores que con espuma de baja expansión. También se puede utilizar en áreas inaccesibles donde hay combustiones lentas bajo derrumbes.

En la siguiente figura, figura 80, se exhibe un apagado de un fuego producido en maderas y plásticos, mediante primero la aplicación de agua, y posteriormente la aplicación de espumas.



Figura 80. Demostración de un apagado con agua y espumas

Las espumas de alta expansión pueden producir grandes volúmenes de espuma capaces de rellenar grandes áreas de una obra subterránea.

Los espumógenos pueden subdividirse en:

Espumógenos no proteínicos: fabricados a partir de diversos productos, como albúminas, etc., con incorporación de sales metálicas polivalentes para conferir resistencia térmica y mecánica a las espumas.

Espumógenos proteínicos: fabricados mediante hidrolización de proteínas animales o vegetales, con aditivos similares a los no proteínicos.

Espumógenos fluoroproteínicos: de base semejante a los proteínicos y caracterizados por una mayor efectividad frente al fuego.

Existen también otros tipos de espumógenos concebidos para trabajar en circunstancias especiales (bajas temperaturas, en presencia de polvo químico seco, etc.).

Normalmente los espumógenos no deben mezclarse, pues suele producirse la precipitación del compuesto activo y, por tanto, el deterioro del espumógeno.

Las espumas de gran expansión son muy adecuadas para actuar por inundación en espacios cerrados. Su alto coeficiente de expansión (hasta 1.000:1) y su fluidez permite su derrame hasta lugares inaccesibles para manguera. Sus principales efectos son:

- Aislamiento del aire con relación al fuego.
- Dilución de la concentración de oxígeno.
- Refrigeración al vaporizarse el agua que contienen.
- Aislamiento contra el calor.

Ventajas

- Tiene las mismas propiedades de enfriamiento que el agua.
- Es un excelente sellado para la radiación térmica
- Las burbujas, al romperse continuamente, hacen que se deposite agua sobre las superficies.
- Se ha utilizado espumas para crear una barrera de ventilación temporal mientras se construyen los sellados permanentes e incluso puede llegar a ser sellados permanentes.
- La operación puede realizarse por control remoto de forma que el personal es sacado de las peores zonas.
- Se pueden rellenar grandes volúmenes.
- Los equipos pueden ser utilizados por el personal de la obra subterránea.

Desventajas

- Si el agua de la obra subterránea se utiliza en las plantas de lavado, la espuma en el agua puede afectar el proceso de lavado.
- Los componentes de las espumas son detergentes que pueden llevarse los lubricantes de las bombas.
- El ratio de lavado del agua se reduce por la espuma, llevando esto a que el agua está más sucia.
- La espuma tiende a tomar el camino de menor resistencia, pero este efecto se disipa si la espuma está distribuida en varios caminos.
- El contacto prolongado de la espuma con la piel puede producir irritaciones.

La espuma sólo puede ser efectiva si alcanza todo el fuego y lo cubre. Antes de utilizar la espuma hay que asegurarse que esta puede aplicarse correctamente.

- Dióxido de carbono

Se puede emplear en los extintores de mano o en grandes volúmenes para inertizar un área grande. Cuando se utiliza para estos grandes volúmenes es conveniente que el fuego esté situado en un punto más bajo que el punto de inyección. Realizará un recorrido descendente en dirección contraria a la de la ventilación. Además alcanza las rocas llegando a los puntos calientes. En general actúa como el agua, pero se puede utilizar donde la utilización de ésta es inapropiado.

- Nitrógeno

El nitrógeno es adecuado para inertizar grandes volúmenes. Debido a que su peso específico es casi igual que el del aire, se mezclará rápidamente. Un tanque de nitrógeno contiene un 50 % más de gas que uno de monóxido de carbono.

Extintores

Polvo seco. (Bicarbonato sódico, potasio, base de fosfato amónico).

Se utilizan en fuegos clase B y Clase C y sofocar fuegos.

Ventajas:

- Son de acción rápida,
- el polvo seco no conduce la electricidad,
- los extintores no se pueden congelar.

Desventajas:

- No tienen efecto cubriente sobre los líquidos inflamables y las fuentes de ignición deben ser remediadas,
- no tiene propiedades de enfriamiento y se debe tener cuidado para que la ignición no vuelva a ocurrir,
- el polvo forma depósitos pegajosos que son perjudiciales para la maquinaria y los equipos.

Los extintores descargan una nube densa de polvo de 2 a 5 m en 10 a 30 segundos.

Extintores de agua CO₂

Se pueden utilizar en fuegos de Clase A cuando se necesita enfriamiento y humedad, pero no cuando hay aceites, grasa o líquidos inflamables o para fuegos eléctricos.

Ventajas:

- El líquido lanzado sólo es agua, la recarga es rápida,
- tiene excelentes propiedades de enfriamiento,
- el agua penetrará hasta los fuegos situados en profundidad.

Desventajas:

- El agua es conductora de la electricidad y no puede utilizarse en fuegos eléctricos, provocará que los fuegos de Clase B se intensifiquen y que los fuegos de Clase D explodan.

Extintores de dióxido de carbono

Consisten en un cilindro de alta presión que contiene dióxido de carbono líquido. Cuando se activa el extintor, el dióxido de carbono fluye a través de un tubo, una válvula y un pequeño orificio situado en la base del “brazo”, donde se transforma en gas y nieve. Se debe tener cuidado de no tocar determinadas partes del “brazo” ya que la temperatura será muy baja y quemaría las manos. El rango de efectividad de las unidades de 1,5 kg a 50 kg es de 1 m a 2 m de distancia en 15/ 60 segundos. Se utilizan para fuegos de Clase B y clase C (figura 81).



Figura 81. Subestación eléctrica con extintor

Ventajas:

- Es de acción muy rápida y es independiente de la temperatura ambiente;
- es limpio, el gas se dispersa rápidamente y no produce reacciones químicas, sin embargo, el gas se encuentra a muy baja temperatura y puede dañar los objetos que sean sensibles al frío;
- el gas no es conductor de la electricidad y no deja depósitos dañinos sobre los equipos eléctricos;
- puede utilizarse en los primeros estados de fuegos de líquidos inflamables, los líquidos no se contaminan con el gas.

Desventajas:

- El cilindro es muy pesado, pero es necesario para que pueda resistir las altas presiones del CO₂ líquido,
- el contenido del cilindro no puede ser inspeccionado visualmente y debe ser pesado adecuadamente,
- para ser recargados los cilindros deben ser enviados fuera,
- las propiedades de enfriamiento del CO₂ son limitadas y pueden ocurrir reigniciones de los fuegos,
- la efectividad está limitada, especialmente en condiciones de viento,
- la aplicación directa del gas sobre equipos delicados puede causar daños por debido al rápido cambio térmico,
- bajo condiciones de humedad la descarga de CO₂ genera electricidad estática, que es poco agradable para el usuario.

La intensidad del humo se incrementa con la humedad. Los extintores de CO₂ se pueden descargar en las corrientes de aire para provocar la condensación y reducir la humedad, así se reducirá la densidad del humo.

13.2.3 Métodos de lucha contra incendios en minas de carbón

Cuando un fuego ha alcanzado una galería de ventilación, se puede tratar de abatir el carbón incandescente y de extinguirlo sobre el terreno; pero el ataque directo no es eficaz más que en determinados casos.

Cuando el fuego sea visible e inaccesible se puede actuar a distancia mediante medidas tendentes a:

- Aumentar la resistencia de los circuitos de fuga.
- Reemplazar el aire que circula por un gas inerte o por agua.
- Disminuir la diferencia de carga en los bornes de estos circuitos.

En los casos más graves, que degeneran frecuentemente en incendio, puede ser necesario aislar el cuartel siniestrado mediante el tabicado del mismo.

1- Ataque directo del fuego o deshornamiento

El ataque por deshornamiento sólo es posible si el fuego es accesible, o muy excepcionalmente cuando las medidas de temperatura realizadas lo sitúan en la proximidad inmediata a un punto accesible.

El deshornamiento es la operación que consiste en quitar o arrancar la totalidad del carbón incandescente; así entendido, esto se ve que solamente es posible cuando el volumen de carbón es reducido y fácilmente accesible:

- Cuando se trata de un fuego de paramento bien delimitado.
- De un fuego de corona en un superespesor local.
- De un fuego en un tramo carbonoso de débil espesor.

El material incandescente abatido y aplastado debe ser inmediatamente apagado por todos los medios disponibles: extintores, arena, polvo, materiales de estanqueidad. Es necesario poder regar abundantemente, pero el agua debe ser empleada con precaución, teniendo en cuenta que el contacto con el carbón incandescente produce gas de agua muy inflamable:

- Debe ser utilizada preferentemente para enfriar los materiales apagados por otros medios, así como el macizo y los elementos combustibles próximos del fuego, para impedir su progresión.
- No debe utilizarse para apagar el carbón incandescente salvo si la corriente de aire es lo bastante viva como para arrastrar los gases combustibles del fuego.

Cuando se trata de un fuego de macizo, el arranque de un volumen superficial de carbón incandescente no tiene efecto útil; sino al contrario, al disminuir la resistencia de los circuitos de fuga que lo alimentan, se aviva el fuego y se facilita su extensión en profundidad. El ataque directo en este caso sólo debe limitarse a enfriar la proximidad del fuego; toda tentativa de deshornamiento está condenada al fracaso.

2- Estanqueificación superficial

La operación tiene por objeto privar de aire al fuego taponando las extremidades de los circuitos de fuga que lo alimentan; a este efecto las galerías son tapizadas de un revestimiento estanco en dos zonas:

- En la zona donde los humos se juntan a la ventilación principal.
- En la zona donde se supone que el aire penetra en el macizo.

Existen distintos tipos de estanqueificación superficial: encamisado, gunitado, látex y espuma.

Encamisado

El encamisado ha sido antiguamente muy utilizado:

- En caso de calentamiento constatado
- o a título preventivo

Consiste en colocar, una vez ensanchada la sección de la galería (figura 81), un segundo sostenimiento con cuadros y camisa de revestimiento, interior al primero; el espacio anular es rellenado de materiales sólidos, sacos de tierra o relleno; la estanqueidad de esta camisa se obtiene mediante el enlodado de los huecos, inyecciones en los terrenos alrededor de la galería, y un buen anclaje al suelo en la roca sana.

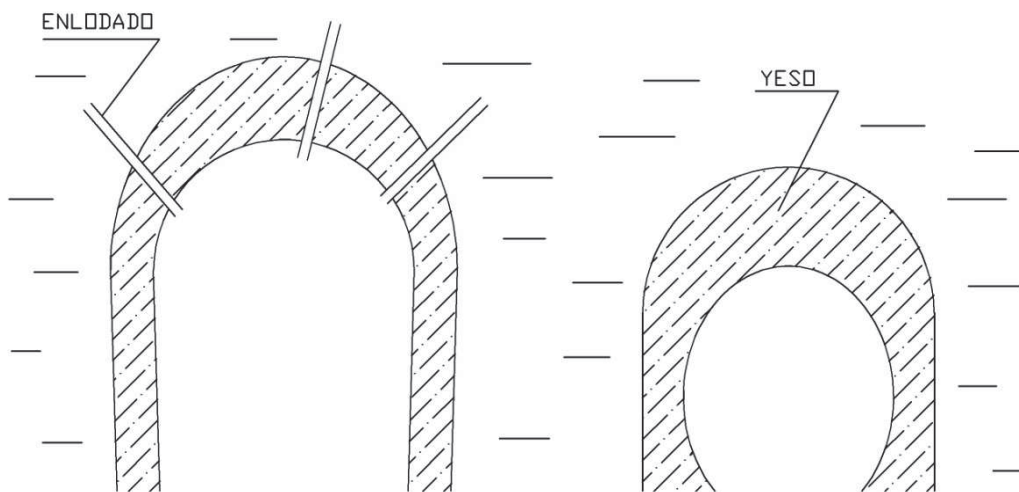


Figura 82. Encamisado

Una variante Lorenés del método es un tubo de 2,40 m de diámetro que constituye el sostenimiento interior, **yeso** que es inyectado en el espacio anular.

El gunitado

El gunitado consiste en proyectar, por pasadas sucesivas, una capa de algunos centímetros de **mortero de fraguado rápido** sobre las paredes de la galería. Es habitual que en la ejecución de un túnel se construya un revestimiento de hormigón (de entre

30 y 50 cm de espesor), normalmente encofrado, y que forma un anillo con el que se finaliza el túnel. Oculto por ese revestimiento se encuentran frecuentemente las láminas de impermeabilización, elementos de sostenimiento y la gunita. La ventaja principal del revestimiento en cuanto al riesgo de incendios es la menor pérdida de carga de ventilación que supone.

Para su puesta en funcionamiento se utiliza una mezcladora, una bomba (50 bar, 12 m³/h), un compresor, canalizaciones flexibles de transporte (distancia de transporte limitada a 60 m) y una lanza de proyección.

El revestimiento sostenido es estanco, pero se fisura, y a veces cae en placas bajo la influencia del movimiento del terreno; ciertas fórmulas permiten aumentar la resistencia (incorporación de finas telas metálicas) a la plasticidad.

Una mejor estanqueidad se obtiene por un gunitado al **yeso**. Se utiliza entonces una mezcla especial, más plástica que la de las barreras, a base de anhidrita (sulfato de calcio anhidro) con un 7,5% de aditivos destinados a plastificar el producto, condensar la mezcla y acelerar el fraguado.

(Ver anexo G)

El látex

El látex constituye un revestimiento de estanqueidad seguro y eficaz, pero se aplica mejor sólo sobre superficies bastante planas; se utiliza para la estanqueificación de barreras, y, para proyección sobre un soporte de tela, en el contorno de las galerías.

El látex se disuelve en agua y al proyectarlo queda un sólido negro muy flexible, como si fuera una película de caucho de 1 a 3 cm. Aguanta bien la deformación de los tabiques, evitando las fugas de aire.

El equipo básico para la proyección de látex consta de una bomba de un solo pistón montada sobre un carrillo de dos ruedas, del tipo de las utilizadas en pintura con aire comprimido.

La aspiración de la bomba se introduce en una garrafa de látex y se pone en marcha mediante la llave de aire comprimido que está en la pistola de proyección.

El producto proyectado es coagulado después de su utilización por medio de una pistola proyectando una solución de cloruro de calcio.

La espuma de poliuretano

La **espuma de poliuretano** se proyecta con la ayuda de una pistola; la mezcla de dos líquidos realizada en el inyector reacciona dando un material celular, cuyo volumen es 30 veces superior, y que se adhiere bien sobre todos los soportes con la condición de que no sean polvorientos o rociados de humedad.

Su puesta en funcionamiento es delicada y no exenta de riesgos resultantes:

- De la emanación de aerosoles irritantes durante la proyección: el operador debe llevar máscara, gafas y guantes.

- Del comportamiento de las espumas en ciertas condiciones:

- La reacción exotérmica de los productos mezclados eleva la temperatura y puede provocar una inflamación espontánea si la capa sobrepasa un cierto espesor (3 centímetros).

- La espuma puede ser atacada y destruida por la llama si no está recubierta de yeso pulverizado, o de otro producto de protección (barniz ignífugo).
- En la aplicación sobre la pared de una galería para constituir un manchón estanco, se corre el riesgo de inflamación, con propagación muy rápida de la llama, susceptible de provocar un incendio de gran violencia.
- Los humos resultantes de una combustión rápida contienen muy poco oxígeno y son muy peligrosos.
- Muy estable, reaccionando con bastante flexibilidad a los movimientos del terreno, y casi impermeable a los gases, la espuma de poliuretano sería un material muy eficaz para eliminar las fugas de aire. Sin embargo, los riesgos resultantes de su empleo conducen a prohibirlas o, al menos, a limitar su utilización a la estanqueidad de pequeñas superficies (barreras, puertas de ventilación) por personal especialmente formado.

3- Enlodado y terraplenado hidráulico

a) **Enlodado:** el enlodado era antiguamente en algunas minas con propensión a fuegos el medio más eficaz de eliminar las infiltraciones de aire y de combatir los fuegos.

La operación consiste en inyectar en los terrenos una **papilla**, es decir una suspensión de elementos sólidos en agua, por medio de la presión de la gravedad o por medio de bombas volúmicas.

(Caudales de 10 a 25 m³/h, presión de 10-60 bar).

La columna de enlodado tiene un diámetro alrededor de 60 mm, que termina:

- Por tubos abandonados en el avance, en los vacíos a rellenar.
- O, en ciertas aplicaciones, por cañas de enlodado introducidas en sondeos, con unión estanca a una cierta profundidad.

La granulometría de los productos sólidos en la papilla es adaptada a la dimensión de las fisuras a rellenar: Esquites de 0-30 mm, slams, cenizas de caldera son empleadas sucesivamente si hay necesidad.

El enlodado rellena los huecos y enfría los terrenos; puede utilizarse principalmente:

- Para rellenar el antiguo montaje de arranque de un tajo en pendiente, o la primera labor de un tajo ascendente, o la última de un tajo al final del panel, o un frente de tajo detenido por accidente que condujo a trasladar el tajo unos metros más lejos.
- Para hacer estancos los bordes de las galerías mantenidas abiertas tras el tajo, por canalizaciones de enlodado penetrando en el relleno cada 5 a 10 metros.
- Para rellenar galerías abandonadas.
- Para rellenar volúmenes importantes de carbón desprendido tras el tajo, los rellenos de las campanas de desprendimiento en corona de las galerías.
- Para mejorar la estanqueidad de las barreras por inyecciones de lodo en los terrenos que las rodean, y por enlodado de los materiales que las constituyen, entre dos tabiques, a partir de una campana en corona.

Cuando la papilla tiene la posibilidad de esparcirse en las galerías en servicio, se deben colocar barreras filtrantes, que dejen pasar el agua y retengan los productos sólidos.

En todos los casos el enlodado se procede por pasadas sucesivas hasta el rechazo.

b) **Terraplenado:** a título preventivo o en caso de incidente, permite rellenar rápidamente vacíos importantes con grandes caudales (varios cientos de m³/h); ha sido frecuentemente utilizado en caso de calentamiento o fuego para suprimir radicalmente toda llegada de aire sobre el foco y ahogarle bajo el agua y la arena; su inconveniente es ser difícil, sino imposible, la recuperación de las labores así tratadas y del material que contienen. En las minas equipadas, la tubería de terraplenado puede ser rápidamente montada, más larga puede ser la realización de las barreras filtrantes cuando son necesarias para retener la arena.

4- Otros métodos de estanqueificación de los terrenos

Actualmente, se utilizan varios productos con la ventaja sobre el enlodado de una puesta en funcionamiento más práctica o una eficacia superior.

Las espumas

Las espumas son productos reticulares de baja densidad, que contienen gas aprisionado en las mallas de la red:

- Las espumas físicas se obtienen por borbotado de aire o nitrógeno en el agua adicionando un producto espumante.

En las espumas químicas, el gas, CO₂ por ejemplo, es desprendido por la reacción resultante de la mezcla de los productos constituyentes. Existen espumas químicas rígidas, utilizadas para la consolidación de terrenos, y espumas plásticas que sirven para rellenar huecos.

El mortero

El mortero (cemento y yeso) es utilizado para rellenar grandes fisuras y para consolidar los terrenos, principalmente en zonas débiles y para rellenados de campanas de desprendimiento (hundidas).

La bentonita

La bentonita es una arcilla natural caracterizada por propiedades de absorción y de hinchamiento muy acusadas. Mezclada con un aditivo (hezametafosfato de sodio) forma con el agua (18 l. por kg de bentonita) un gel muy consistente, que no disminuye el volumen al envejecer y no seca, lo que permite continuar la inyección si es preciso por el mismo agujero del sondeo.

Las inyecciones de bentonita son muy eficaces para la estanqueificación de tabiques, de galerías aplastadas, de los pilares residuales, de los terrenos alrededor de las barreras.

Las resinas

Las resinas se utilizan para rellenar huecos y fisuras, sirviendo en algunos casos como consolidante del terreno.

5- Inertización local

La inertización es la operación que consiste en introducir gases inertes en una atmósfera susceptible de entrar en contacto con un fuego, en cantidad suficiente para bajar el porcentaje de oxígeno al mínimo posible.

La inertización tiene como objetivos la eliminación del riesgo de explosión, la disminución de la intensidad de la combustión, impedir los calentamientos espontáneos y la aparición de fuegos, e impedir la entrada de aire en los tabiques. Hay que tener en cuenta que la zona tabicada puede tener una atmósfera con una gran concentración de gases combustibles y con un contenido muy pequeño de oxígeno, por lo que si se purga directamente con aire da lugar a una atmósfera explosiva. Este riesgo podría evitarse purgando nitrógeno en vez de aire (figura 83).

La purga consiste en inyectar un caudal de nitrógeno, que sustituye a un caudal igual de gases combustibles que son expulsados. La purga debe realizarse hasta que el porcentaje del gas combustible se sitúe en una concentración no peligrosa y hay un enfriamiento de los materiales en combustión.



Figura 83. Tubería de Inyección de nitrógeno en el frente

Después de la purga, se puede presentar sin riesgo en la zona tabicada y eliminar cualquier residuo en combustión. Después de la recuperación se purga pero con aire para expulsar el nitrógeno hasta que haya una atmósfera respirable.

La inertización local por inyección de nitrógeno gaseoso permite combatir o prevenir los fuegos. El nacimiento de un fuego requiere el contacto del carbón con el oxígeno; la sustitución del oxígeno por el nitrógeno en una zona de carbón fisurado o en el hundimiento es un medio eficaz para evitar este nacimiento.

El almacenamiento del nitrógeno se hará en depósitos a muy baja temperatura, de forma que se encuentra en estado líquido. En el momento de ser utilizado, el nitrógeno se calentará en una unidad de vaporización y, de esta forma, el nitrógeno será aplicado en estado gaseoso.(Ver figura 84).



Figura 84. Depósito de Nitrógeno para la inertización

El nitrógeno, en ese momento, entrará a la mina por medio de unas tuberías metálicas hasta las galerías de carbón, donde se distribuirá este gas por medio de tuberías de PVC (ver figura 85), e inertizará la zona que esté ardiendo incluso si se trata de un fuego inaccesible. Dichas tuberías de plástico serán abandonadas durante el avance de la explotación.



Figura 85. Tubería de PVC de conducción de nitrógeno para frentes de galería

Varios ejemplos de aplicación pueden ser citados:

- Inyección de nitrógeno en el hundimiento de una zona explotada, por medio de canalizaciones abandonadas en la hundida: en este caso, se impediría la entrada de aire a través o alrededor de un tabique. Se realiza dejando una cámara delante del tabique y se rellena de N_2 de manera que si hay un cambio de presión, este gas es el que fluye al interior de la zona tabicada, impidiendo la entrada de oxígeno.
- Inyección por medio de sondeos perforados a partir de galerías con objeto de recuperar una zona problemática.
- Rellenado de un trazado en fondo de saco por nitrógeno utilizando las canalizaciones existentes (conducto de aire comprimido o canalización de ventilación), cuando un calentamiento es constatado al contacto de este trazado (figura 86), o cuando este trazado alimenta un circuito de fuga responsable de un calentamiento más lejano.

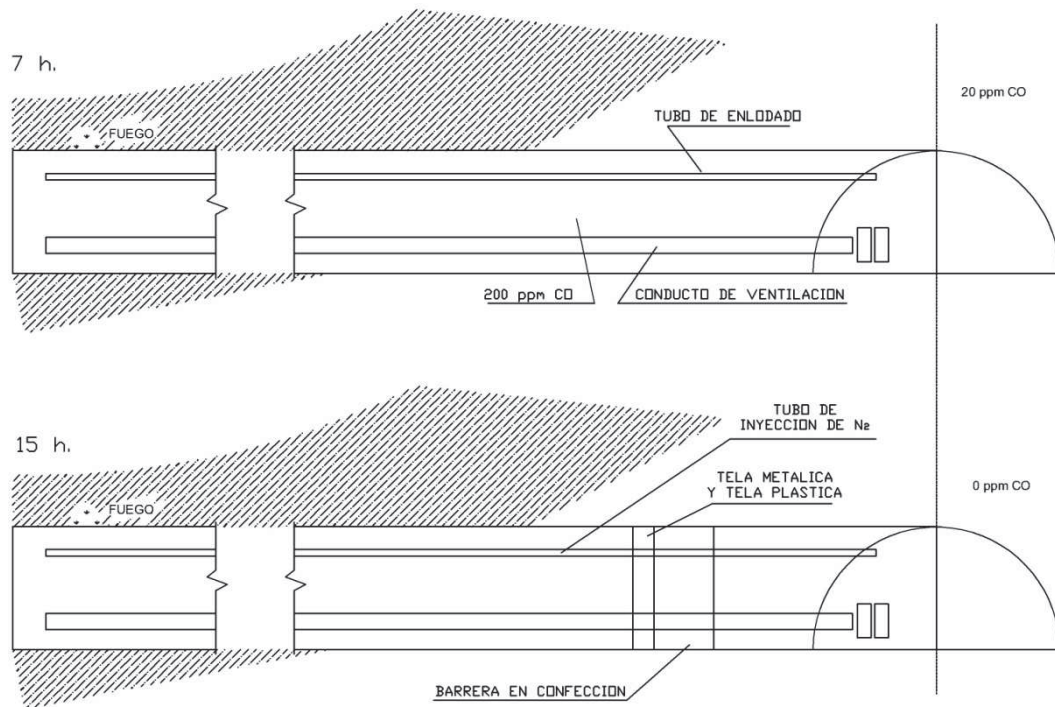


Figura 86. Inertización de un fondo de saco

- Puesta bajo nitrógeno de un tajo detenido durante un periodo bastante largo (vacaciones anuales); para no interrumpir la ventilación en las galerías de tajo, se instala entre dos barreras una línea de ventilación secundaria (ver figura 87) equipada de un ventilador que suministra el caudal deseado. El nitrógeno es inyectado en la base de la última calle hundida (figura 88).



Figura 87. Tubería de ventilación secundaria de una mina

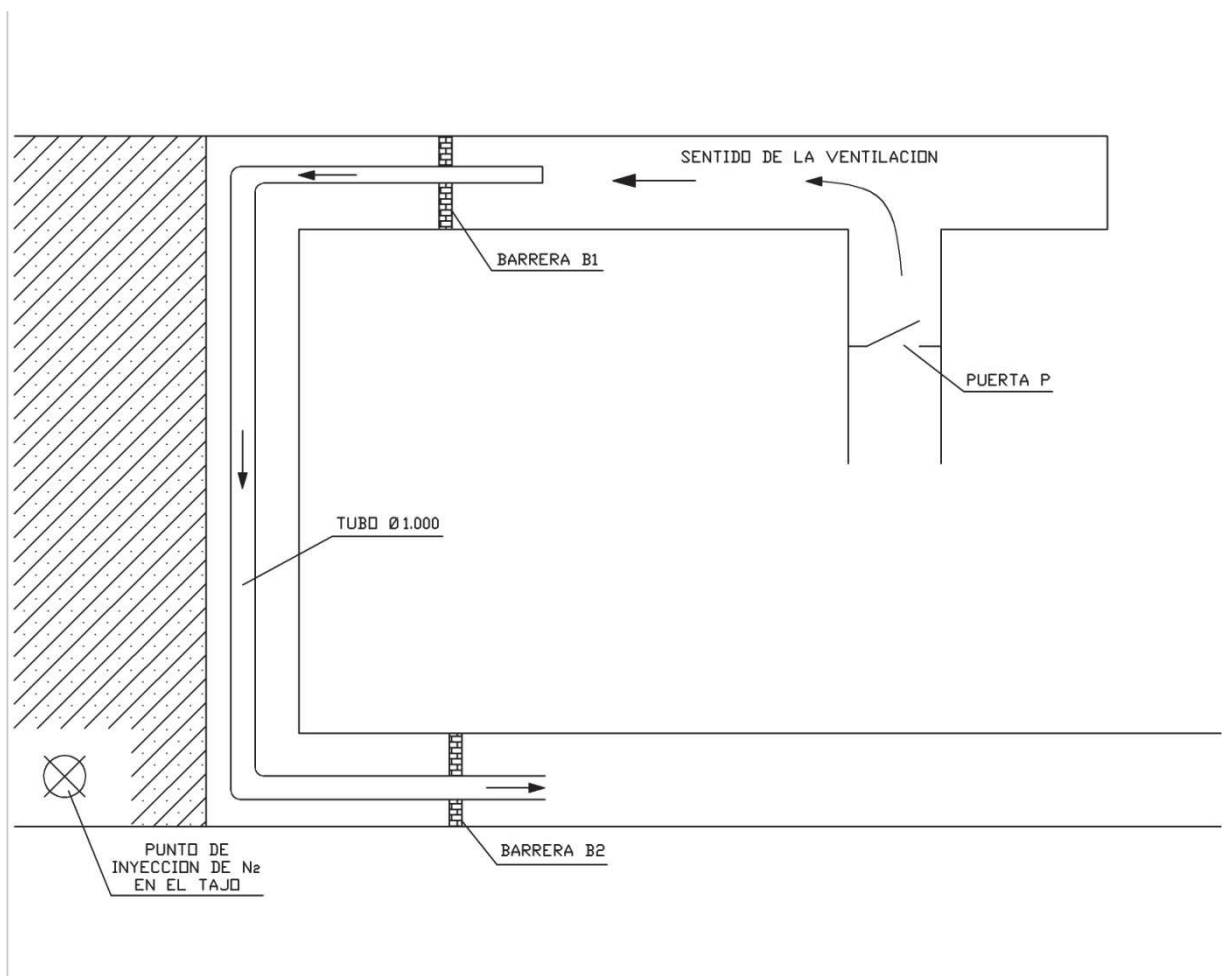


Figura 88. Puesta bajo nitrógeno de un tajo parado

Las necesidades de nitrógeno en estas intervenciones no sobrepasan 100 a 300 m³/h.

Esto es el nitrógeno gaseoso que se utiliza hoy día con más frecuencia tanto para la inertización local como para la inertización de una zona a gran escala.

Pero, además, se podría utilizar igualmente:

- El gas carbónico: Por su fuerte densidad, el gas carbónico desplaza al oxígeno de las partes bajas, pero al contacto con el carbón encendido, da óxido de carbono.
- El nitrógeno líquido: Transportado al fondo en depósitos, puesto a presión de algunos bares en botellas de nitrógeno gaseoso, el nitrógeno líquido puede ser inyectado a través de una unión estanca por sondeos que desembocan en la proximidad del foco; su evaporización que absorbe 47 mth por kg de nitrógeno, tiene por efecto enfriar los terrenos.

El anegado de una zona problemática pendiente abajo elimina radicalmente el oxígeno y detiene la combustión; pero el desanegado tiende a ensanchar las fisuras existentes y la experiencia demuestra que el fuego continua frecuentemente cuando el aire circula de nuevo al contacto de un carbón insuficientemente enfriado.

Reglas para la inertización local

Inertización local significa el método de llenar con gas inerte un campo de incendio limitado por tabiques u otros medios de cierre. Propósito de la inertización es transformar mezclas explosivas de gas/aire en mezclas no explosivas, reducir o limitar el desarrollo del incendio o de sofocarlo totalmente.

El procedimiento de inertización local suele aplicarse generalmente en la lucha contra fuegos abiertos. Solamente en algún caso individual fue aplicada la inertización local también en la lucha contra fuegos ocultos para eliminar el peligro de explosiones en la zona derrumbada.

Este peligro puede ser evitado por la inertización de todo el sistema cercano de galerías y por el barrido de todo el campo de derrumbamiento con gas inerte.

Los siguientes pensamientos (resultantes de experiencias ganadas) deberían considerarse en los reglamentos base referentes a la lucha contra fuegos:

- El propósito y objetivo de la inertización local debe ser, reducir el contenido de oxígeno en el campo del fuego a menos del 10% en volumen, puesto que así se excluye un fuego a llama abierta.
- Las mezclas de gas metano/aire tampoco serán explosivas bajo esta condición; en caso de observar alguna concentración de hidrógeno deberá reducirse aún más el contenido de oxígeno.

Para conseguir la reducción deseada de oxígeno debe por tanto producirse la relación correcta entre corriente de gas inerte y corriente de aire de ventilación. De importancia es, llevar a cabo los trabajos preparatorios para la inertización paralelos a las obras de aislamiento. Si se llega a aplicar el gas inerte lo suficientemente temprano, puede incluso conseguirse con frecuencia la eliminación del peligro de explosión antes de que los muros a prueba de explosión estén terminados. Las obras en los muros pueden entonces dejarse para más tarde, a veces resultan suficientes tablonajes compactos que sirven de estrangulación del aire de ventilación. El tablonaje en el lado de entrada de aire sirve para la adaptación de la corriente de aire a la corriente disponible de nitrógeno. En el lado de salida del aire puede prescindirse incluso de un tabique si las condiciones lo permiten.

Para evitar una ventilación difusa deberá conservarse el sistema de muros de construcción rápida o de tablonaje. La situación de los muros tiene una importancia secundaria en la inertización, ya que puede avanzarse el primer muro en caso de haber resultado eficaz la inertización.

Si, en casos favorables, se pasa de la inertización local a la inertización del objeto, se prescinde definitivamente de muros.

Reglas para la inertización del objeto

Inertización del objeto significa la inundación directa del foco del fuego con gas inerte. Este método se aplica, por ejemplo, si pueden inundarse con gases inertes fuegos ocultos, sin que se tenga que interrumpir la ventilación del tajo. La corriente de aire pirata afluyente en el incendio oculto debe ser sustituida totalmente por gas inerte. La cantidad de gas inerte requerida por unidad de tiempo suele ser menor que en la inertización local.

Los siguientes aspectos deberán considerarse en las reglas fundamentales para la lucha contra incendios ocultos:

- Para la aplicación de nitrógeno deben encontrarse los puntos correctos de inyección para poder reducir suficientemente el contenido de oxígeno en la zona del fuego. Aquí debe desarrollarse una sistematización para cada caso individual con respecto a la aplicación de nitrógeno y al control.
- La aplicación del nitrógeno debe llevarse a cabo -siempre teniendo en cuenta el gradiente de presión del aire existente- desde el lado de entrada de aire.

Si las concentraciones de CO en la corriente libre de aire bajan hasta aproximadamente cero y si las concentraciones de oxígeno (medidas en los tubos de ventosa en el lado de salida del aire) han bajado consecuentemente, puede empezarse con la lucha definitiva contra el fuego oculto. Aquí se tienen en cuenta en primer lugar -también para reducir el caudal de nitrógeno- medidas de aislamiento para eliminar y reducir las corrientes de aires piratas y el enlodamiento del foco del fuego con un lodo de fraguado hidráulico (lo último, sin embargo, solamente en casos donde el foco esté situado cerca del tajo o talleres abiertos).

Hasta que las medidas de aislamiento tengan efecto debe mantenerse en pie la inertización, aunque ventilación y tajo estén en marcha. No obstante, debe garantizarse, que las suposiciones citadas más adelante y los reglamentos de seguridad sean observados.

Reglas para abrir campos de fuegos o incendios

Para enfriar un fuego abierto y sofocarlo ha sido necesario a veces tener la zona del fuego tabicada y cerrada durante meses. Para algunas combustiones espontáneas debieron emplearse, según las experiencias ganadas, por lo menos durante 6 meses.

Los tajos y talleres solían sufrir bajo las influencias de las presiones de la roca y de agua estancada.

Los trabajos posteriores de la brigada de salvamento resultaban muy difíciles por haberse adaptado la temperatura ambiente de su entorno a la temperatura de la roca, teniendo una humedad relativa de aproximadamente 100%.

Tendría que tenerse atención especial en caso de esperar mezclas de gases explosivos al ventilar estos tajos o talleres.

La separación rigurosa entre aislamiento y puesta al descubierto (abrir) de campos de fuegos e incendios, practicada hasta la actualidad, puede olvidarse a razón de la aplicación de la inertización. Hoy en día existe una relación estrecha entre lucha contra el incendio o fuego y la recuperación posterior. Los trabajos para el saneamiento del fuego empiezan en el entorno del mismo con la mayor rapidez posible. De esta forma se excluyen las desventajas citadas, obteniendo no obstante una enorme ganancia de tiempo.

En vista a la puesta al descubierto y a la ventilación se está -por la inertización- en condiciones de producir un campo de incendios con mezclas inexplorables de gases, que siguen siendo inexplorables aunque sean enrarecidas con aire.

Al tener la garantía, por controles constantes y por la técnica de medición llevados a cabo en el campo del siniestro, de que el fuego no pueda reavivarse y que mezclas explosivas no puedan generarse al ser enrarecidas con aire, podrá recuperarse el campo del incendio con la ayuda de un barrido dosificado de aire bajo ciertas circunstancias solamente por el barrido de secciones de la zona.

Todos los demás trabajos pueden entonces realizarse en atmósfera normal sin necesidad de usar protección respiratoria. Sin embargo, se aconseja no volver a ocupar los tajos hasta que la brigada de salvamento pueda confirmar, que todos los tajos estén libres de gases peligrosos y que el fuego o incendio esté totalmente sofocado.

Otra ventaja y mejora es, si se compara este sistema con el de abrir la zona del incendio después de mucho tiempo, que el área del incendio sufre menos alteración desfavorable en lo que se refiere a presión de la roca, agua, hundimientos, etc. Se obtienen grandes ventajas en lo referente a los procedimientos engorrosos de planificación, que se requieren para obtener el permiso para abrir un campo de incendio. La mejora climática en el área del incendio por la introducción de nitrógeno frío y seco es otra ventaja del procedimiento, por disponer la brigada de salvamento avanzada de más tiempo para las obras.

Condiciones para la técnica de medición y el control durante la inertización

Las reglas modificadas para la lucha contra fuegos e incendios al aplicar el procedimiento de inertización presuponen, que las reglas de seguridad y las medidas de control e inspección, que se citarán más adelante, sean observadas y garantizadas.

Fundamento de este procedimiento es un transporte seguro del nitrógeno hasta el punto respectivo en la mina, desde donde va a ser inyectado. Resulta ser

eventualmente conveniente tener a disposición en la superficie un evaporador de reserva, así como unas existencias suficientes y un aprovisionamiento seguro de nitrógeno líquido.

Al transportar el nitrógeno por conductos de tubería o mangueras debe cuidarse que el conducto no tenga desperfecto alguno, causado por ejemplo por las jaulas en el pozo o por efectos de transporte y de extracción en las galerías.

La instalación evaporadora deberá ser equipada con aparatos de control del caudal, temperatura y presión, cuyos datos serán teletransmitidos al puesto de control. En el interior de la mina deberá controlarse y medirse por lo menos la presión, y en caso de tener vanos puntos de inyección también el caudal del nitrógeno.

Para controlar la eficacia y los efectos de la inertización deben observarse constantemente la combinación de los aires de incendio. Apropriados para esto son aparatos registradores para metano, óxido carbónico y sobre todo para oxígeno, cuyos datos medidos pueden ser teletransmitidos al puesto de control.

Para este fin se han desarrollado vanos aparatos compactos de medición. Se pretende además medir adicionalmente -por lo menos en algunos casos determinados- la concentración de hidrógeno.

Lo más apropiado y eficaz en la inertización del objeto es la conexión directa de los aparatos medidores a los tubos de ventosa en el lado de salida de aire. El control por los aparatos medidores puede ser aun asegurado por tomas adicionales de gas.

El amplio control mediante los aparatos medidores sirve también para proteger los trabajadores. Debe reconocerse a tiempo cualquier peligro por explosiones, gases de incendio y falta de oxígeno. Los trabajadores amenazados deben ser avisados inmediatamente, para que las secciones de la mina, que puedan estar expuestas a los peligros citados, sean evacuadas sin perder tiempo.

Para excluir el peligro de falta de oxígeno, debe ser garantizada, que la alimentación con nitrógeno sea inmediatamente parada al fallar o al pararse el ventilador principal de mina. Además deben controlarse con toda regularidad los conductos de manguera, que transportan el nitrógeno, para comprobar su impermeabilidad.

Toda persona, que pueda estar expuesta a la falta de oxígeno o a gases de incendio debe disponer siempre de aparatos manuales de medición. Las labores de mina en las que la concentración de oxígeno pueda bajar a menos de 18% en volumen al romperse un conducto de nitrógeno, deben ser bloqueadas u ocupadas solamente por la brigada de salvamento. Otras personas pueden ser protegidas eventualmente por autorrescatadores, aunque en estos casos deben llevarse a cabo las labores solamente bajo la dirección e inspección de la brigada de salvamento.

Reglas para trabajar en atmósfera pobre en oxígeno

La inertización traerá consigo por un lado gran cantidad de tareas nuevas para las brigadas de salvamento, y por el otro un campo de trabajo diferente y desacostumbrado en atmósfera pobre en oxígeno.

Al trabajar en atmósfera inerte debe guardarse sobre todo disciplina en lo que se refiere a la protección respiratoria.

Mientras que un fuego abierto produce una señal de alarma por si solo con el desarrollo de humo, la falta de oxígeno únicamente se comprueba por aparatos medidores. Sin estos aparatos falta todo aviso, lo cual representa un peligro eminente. El trabajo en atmósfera inerte puede ser tan peligroso o más que el trabajo en elevadas concentraciones de gas de incendio, ya que la falta de oxígeno lleva al desmayo sin aviso previo. Por tanto es de importancia vital, que las acometidas de los tubos respiratorios estén perfectamente fijas y herméticas, lo cual debe comprobarse en intervalos cortos y regulares. Trabajadores que llevan boquillas respiratorias deben guardar rigurosamente la prohibición de hablar.

La comunicación telefónica constante entre el grupo avanzando en atmósfera inerte y el puesto de guardia debe ser siempre clara y audible.

Cuidado especial debe guardarse al trabajar cerca del chorro de nitrógeno, que bajo ciertas circunstancias produce un ruido ensordecedor. Por razones de seguridad debe garantizarse alguna separación local entre el lugar de trabajo y la salida del nitrógeno del conducto, por ejemplo deberán llegar los tubos (en la inertización local) unos 20 metros más allá del muro contra incendios.

Perspectivas

La elección del procedimiento más apropiado para combatir fuegos e incendios en la mina debería depender en primer lugar de la seguridad. El procedimiento de inertización, probado ya en muchas ocasiones, ofrece la mayor seguridad posible en lo que se refiere a peligros de explosiones y de expansión de los incendios. Además trae consigo grandes ventajas para el aislamiento y la recuperación de campos enteros de incendio.

Los reglamentos de la técnica deberían por tanto ser revisados, ampliados y completados por el procedimiento de inertización. Para el control de la eficacia y de los resultados de la inertización y para la mejor protección de los obreros deberá seguir mejorándose la técnica de medición con el empleo de registradores de oxígeno.

Para la inertización del objeto sería ventajoso si se pudiera determinar con la ayuda de aparatos medidores de caudal la distribución del nitrógeno sobre los distintos puntos de inyección.

Para dar a la dirección de una mina la posibilidad de tomar decisiones rápidas, deberían estar equipados todos los aparatos medidores con teletransmisión hacia la superficie.

La aplicación del procedimiento de inertización con nitrógeno origina gastos bastante elevados entre 0,30 a 0,50 DM por metro cúbico. Los resultados y las ventajas de la inertización están no obstante en una relación favorable a los medios financieros.

Las ventajas económicas resultantes de aquellos casos, en que se pudieron mantener en marcha la explotación normal, salvar secciones o tajos enteros y de recuperar todo equipo instalado son difíciles de calcular; se sabe, sin embargo con toda seguridad, que los ahorros fueron, son y serán considerables.

En caso de tener que decidirse por una inertización de larga duración, por no tener otro remedio, es recomendable estudiar si, aplicando las medidas convencionales de combatir un incendio, puede obtenerse o no una relación gasto/utilidad mejor.

Como alternativa se ofrecen medidas intensivas de compactación y de aislamiento o medidas relativas a la ventilación, como por ejemplo el sistema de compensación de presión (equilibrado de presiones).

6- Equilibrado de presiones

La autoinflamación es el resultado de una reacción química cuando se encuentran en presencia un cierto número de elementos sin duda en proporciones bien determinadas, carbón, pirita, agua, bacterias, temperatura y oxígeno.

No se sabe gran cosa sobre estos factores, lo que es cierto es que el oxígeno es indispensable. No hay fuego sin oxígeno. El minero por otro lado es incapaz de actuar sobre otros elementos, pirita, bacterias. Se podrá quizá un día encontrar un inhibidor, pero será un proceso excesivamente caro porque será necesario inhibir todas las labores.

Por contra es el minero mismo quien introduce el oxígeno en la mina por la necesidad de respirar, siendo entonces el único factor sobre el que se puede actuar. Debe poder evitarse el enviar oxígeno dónde no sea preciso.

De esto se deduce naturalmente el fundamento del método: entre dos puntos el aire circula bajo el efecto de una diferencia de presión, es suficiente equilibrar la presión entre estos puntos para anular todo aporte de oxígeno y extinguir un fuego que se hubiese declarado entre esos dos puntos.

A título preventivo el equilibrado entre ciertos puntos cuidadosamente escogidos puede bastar a menudo para evitar la eclosión de un calentamiento. Preventivamente no es posible equilibrarlo todo, ni realizar un equilibrado perfecto. Esto no es absolutamente necesario.

Los rusos han tenido en cuenta en diversos estudios la influencia del paso de aire a través de viejas labores. Ellos toman como criterio el caudal en litros por m² de superficie. El fuego no se manifiesta más que entre dos límites variables con la susceptibilidad. Demuestran así que por debajo de un cierto caudal no hay nada que temer. El fundamento de la prevención es entonces tratar de mantenerse por debajo del mínimo con un equilibrado incluso imperfecto, se minimiza así muy fuertemente el riesgo de que un calentamiento tenga lugar, se dispone también de un gas trazador gratuito, el CO, que facilita el reglaje perfecto. El dispositivo de prevención permite intervenir, muy rápidamente, lo que es muy apreciado.

Antes de haberlo constatado incluso "de visu", no puede uno imaginarse que el aire pueda circular con muy débiles depresiones a distancias considerables a través de terrenos vírgenes bastante lejos de la explotación, o a través de trabajos antiguos. Existen pruebas de ello.

Por otra parte en terrenos vírgenes y a gran profundidad, se encuentra agua que ha llegado generalmente a través de las fallas. Basta pensar que el aire pasa muy fácilmente donde el agua más pura no pasa. (Ver anexo E)

7- Seguridad de las intervenciones

1° Cuando un fuego no puede ser extinguido por medio de las medidas mencionadas en los párrafos precedentes:

- Puede permanecer aislado en zonas inaccesibles, y el único medio de hacerlo es de hacer barreras o inertizar por medio de los métodos ya descritos.
- Puede desembocar sobre una galería abierta, llegar a ser extremadamente violento y degenerar en incendio; los dispositivos a adoptar en este caso, o cuando esta evolución es de temer, son propios de la lucha contra incendios.

2° El peligro de un fuego, antes de que sea apagado, o que el efecto de la lucha no sea patente, resulta sobre todo de la presencia de óxido de carbono en el retorno de aire. La seguridad de los equipos de intervención que en este caso son utilizados se fundamenta esencialmente en el conocimiento de los efectos del monóxido de carbono:

- El control permanente de los contenidos en CO (analizadores continuos y manuales)
- La utilización eventual de aparatos respiratorios:
 - Dispuestos para su utilización si el contenido sobrepasa las 100 p.p.m.
 - Utilizados si el contenido sobrepasa las 300 p.p.m.

3° Ciertas intervenciones exigen precauciones suplementarias:

- Si se trabaja en una galería en la que el fuego amenaza con llegar, es bueno seguir su progresión por medidas de temperatura de pared.
- En el caso de ataque directo de un fuego incandescente:
 - Evitar proyectar agua sobre el carbón incandescente.

- Mantener una corriente de aire bastante viva para separar del fuego los gases de destilación y el gas de agua que pueda formarse.
- En caso de inertización local, controlar los caminos de retorno del nitrógeno en la ventilación general:

- El caudal de nitrógeno es normalmente demasiado débil para que una dilución homogénea en la ventilación general sea molesta.

- Pero localmente un flujo excesivo de nitrógeno puede hacer el aire irrespirable.

(Ver anexo J)

14 NORMATIVA APLICABLE

- UNE-EN 2:1994. Clases de fuego
- Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, aprobado por el Real Decreto 863/1985:
 - ITC 04.5.04. Vehículos automotores.
 - ITC 04.6.03. Precauciones contra incendios.
 - ITC 04.7.02. Concentraciones límites de gases. Temperatura, humedad y clima.
 - ITC 05.0.02. Contenidos límite de metano en la corriente de aire.
 - ITC 05.0.03. Ventilación y desagüe. Minas con grisú u otros gases inflamables. Ventilación secundaria.
 - ITC 10.0.02. Utilización de explosivos.

 - ITC 12.0.01. Certificaciones y homologaciones
- Orden de 23 de febrero de 1996, por la que se modifica el punto 6, “Cintas transportadoras”, de la ITC 04.6.03.
- Norma VDI 3673 (2000). Guidelines on venting of dust explosions.
- NTP 369: Atmósferas potencialmente explosivas: instalaciones eléctricas

15 BIBLIOGRAFÍA

COMAS TURNES, E., "Equipos y servicios", volumen III. Prevención, detección y extinción de incendios en los buques. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales. 1993.

EDITORIAL LEX NOVA. Volumen V. "Seguridad y salud laboral". 2000

GARCIA TORRENT, J., "Seguridad industrial en atmósferas explosivas". Laboratorio Oficial J.M. Madariaga. 2003.

HACAR, F., ABELLA, A., GARCÍA-ARANGO, I., "Incendios en túneles". Ministerio de Obras Públicas y Transportes (M.O.P.T). Dirección general de canteras. Demarcación de carreteras de Asturias. 1993.

HOLDING, W., "Review of practices for the prevention, detection and control of underground fires in coal mines". Safety in mines research advisory comité (SIMRAC). Final Project Report. Septiembre 1994.

HULLERA VASCO-LEONESA, "Incendio y explosiones por soldadura eléctrica". Disposición interna de seguridad.

HUNOSA, "Propuesta de medidas de prevención". Comisión fuegos en subniveles. Mieres, mayo 1993.

HUNOSA, "Supervisión y control de la atmósfera minera. Prevención y lucha contra incendios. Plan de actuación". Marzo, 1994.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGME). "Estudio de las características del calentamiento y combustión espontánea en capa de las hullas subbituminosas peninsulares". Ensayos de laboratorio. Septiembre 1992.

LEÓN MARCO, P., "Investigación sobre fuegos e incendios en las explotaciones subterráneas de lignito de Teruel. Análisis, prevención y valoración del riesgo de autoinflamación". Tesis Doctoral. 1989.

LUQUE CABAL, V., "Manual de ventilación de minas". Asociación de Investigación Tecnológica de Equipos Mineros (AITEMIN). 1988.

MARI SAGARRA, R., GONZÁLEZ PINO, E., "Lucha contra incendios a bordo". Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Instituto Social de la Marina. 1989.

MEDINA RUIZ-CASTELLANO, L., “Introducción a la prevención y extinción de incendios”. Jornada técnica. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Aragón. Zaragoza, marzo 2003.

SASKATCHEWAN MINE EMERGENCY RESPONSE PROGRAM. Mine rescue manual.<http://www.labour.gov.sk.ca/safety/mine-rescue-manual/chapter-4/mine-fires-2.htm>

SOCIEDAD ANÓNIMA HULLERA VASCO-LEONESA, “Soldadura y corte oxiacetilénico”. Disposición interna de seguridad.

SPENCER, K.C., WALTERS, D.M., “Checklist of best practice requirements for the prevention and management of intrushes, fires, explosions and other emergencies”. Safety in mines research advisory comité (SIMRAC). Febrero, 2000.

UNIÓN ESPAÑOLA DE EXPLOSIVOS, “Manual de Empleo de explosivos”. Enero 2001.

ZENITH, “El extintor: uso y normativa”.

<http://cdaf.es/Media/ActSep01/mnzenith/ELEXTINTOR2.htm>

Fotografías:

- Archivos del Laboratorio Oficial J.M. Madariaga
- Hunosa. Pozo Pumarabule
- Samca. Mina Maria
- Sociedad Anónima Hullera Vasco-Leonesa. Pozo Emilio del Valle.



SECRETARÍA GENERAL
DE ENERGÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA
Y MINAS

ANEXO A

GASES INDICADORES DE LA AUTOCOMBUSTIÓN



ANEXO A. GASES INDICADORES DE LA AUTOCOMBUSTIÓN

Los principales indicadores de fuegos subterráneos son los gases y los humos. Los gases pueden dividirse en múltiples grupos. El primer grupo consiste en productos destilados, esto es, gases que están presentes en el carbón y que son emitidos de forma natural, pero que son liberados más libremente cuando aumenta la temperatura. Los principales gases son; el metano (CH_4), el etano (C_2H_6) y el propano (C_3H_8), y sus concentraciones aumentan hasta que la temperatura excede los 423 K. En este momento, comienzan las llamas de combustión y los gases destilados van siendo consumidos, disminuyendo, así, sus concentraciones. El segundo grupo de gases consiste en los productos de combustión como el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), etileno (C_2H_4), propileno (C_3H_6) y, a veces, acetileno (C_2H_2). El dióxido de carbono es un producto de combustión completa y es predominante únicamente cuando el fuego ha alcanzado un estado avanzado, mientras que el resto de gases son productos de una combustión incompleta y son, por lo tanto, indicadores útiles de las etapas iniciales de una autocombustión del carbón.

Mientras la oxidación se acelera en la primera etapa de la autocombustión y, posteriormente, va acelerándose aún más según aumenta la temperatura, se produce primero el monóxido de carbono, seguido del hidrógeno, etileno, propileno y el acetileno, en este orden. La presencia de estos gases puede, por lo tanto, ser utilizada como indicadores de la temperatura del calentamiento. En los gases de un calentamiento activo, siempre habrá más CO que H_2 , y más H_2 que los hidrocarburos C_2H_4 , C_3H_6 y C_2H_2 . Cuando el oxígeno disminuye al 2 % o menos, el H_2 puede disminuir a niveles más bajos que los hidrocarburos. Esto se basa en el trabajo de Chamberlain y se muestra en la figura I.

El tercer grupo de gases abarca los constituyentes del aire en sí mismo, es decir, oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono (el resto de gases traza se engloban dentro

del nitrógeno). Mientras el oxígeno es consumido debido a la oxidación y a la combustión, las proporciones normales de; 20,93% de O₂, 19,04% de N₂ y 0,03% de CO₂, son distorsionadas y, debido al agotamiento del O₂, aparece un exceso de N₂ y CO₂. La mezcla del exceso de N₂ y del exceso de CO₂ se conoce como *humedad negra*. Ya que la oxidación lenta del material carbonoso es un factor normal en toda mina de carbón, la llamada *humedad negra* se encuentra casi siempre presente en dicho lugar, y ha dejado a la mayoría de las minas alguna catástrofe.

Cuando la oxidación se acelera de tal manera que da lugar a una autocombustión y a un fuego abierto, la proporción de los gases cambia muy rápidamente, pudiendo recogerse información muy útil del seguimiento de las tendencias de las concentraciones de estos gases.

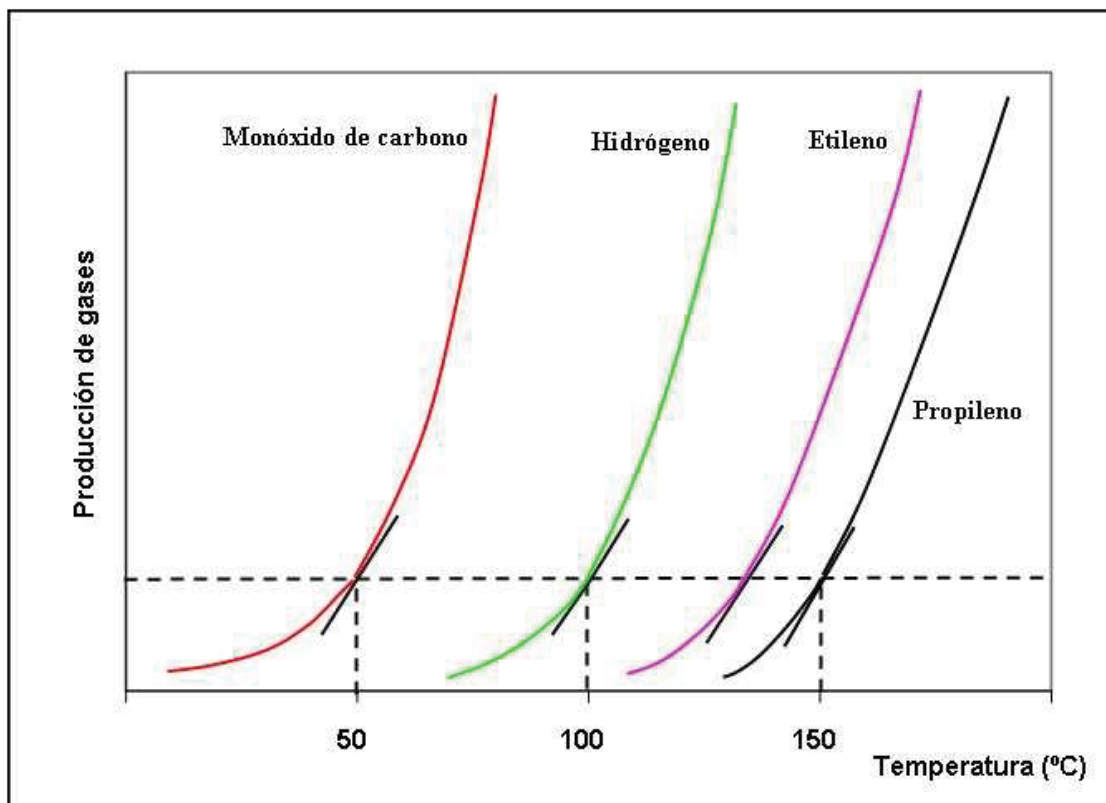


Figura I. Producción de gases durante el calentamiento activo

Debido a que el N_2 no es ni consumido ni producido en el proceso de combustión, este gas proporciona una base fija con la que los otros gases puedan ser comparados. Las tendencias de las variaciones del N_2 con respecto a otros gases puede ser de gran utilidad.

La situación en su conjunto puede resultar complicada por el hecho de que, algunos de los gases utilizados como indicadores de fuego, pueden aparecer por causas completamente distintas al mismo.

El CO_2 es, a veces, emitido por las capas de carbón de forma continua de la misma manera que el CH_4 . También puede producirse por la acción de aguas ácidas en los carbonatos. Por otro lado, puede también agotarse por disolución en agua. En algunos casos, se ha sabido que el N_2 también es emitido por las capas de carbón en pequeñas cantidades, mientras que el CO es un producto de los motores diesel y del uso de explosivos.

Un aspecto adicional a tener en cuenta es que, las conclusiones dadas por los estudios de gases de fuegos, se basan en la teoría de la combustión, la cual, a su vez, se basa en el hecho de que el aire que alimenta el proceso de combustión es normal. Si esto no fuera verdad, particularmente si el aire es, de antemano, deficiente en oxígeno, deberá tenerse cuidado en las interpretaciones de las tendencias, especialmente a la hora de tomar las decisiones basadas en los índices de deficiencia de oxígeno involucrado, por ejemplo, el Índice de Graham.

El humo es también un indicador sensible de fuego. En el caso de fuegos debidos a otras causas distintas a la autocombustión, el humo es un indicador más efectivo que el monóxido de carbono.

En los ensayos llevados a cabo *in situ*, fue detectado, mediante un detector de ionización Becon, a una distancia de 2500 metros, una velocidad de combustión de

combustible diesel y banda transportadora de 800 gramos por minuto. La concentración de monóxido de carbono en esa ocasión fue de 9 ppm, mientras que la mayoría de los sensores de monóxido de carbono tienen una señal del nivel de ruido de fondo de 3 ppm. Es improbable que un sensor de CO reaccionase confiablemente frente a un incremento de la concentración como éste sobre el nivel de ruido de fondo. Cuando el fuego es inaccesible o demasiado pequeño como para que dé muestras discernibles, puede utilizarse la composición de los gases producidos por dicho fuego para interpretar el estado en el que se encuentra. A pesar de que un simple análisis de la composición de gases y de las tendencias de la misma pueden proporcionar información útil, algunos trabajadores han utilizado la relación de gases como un instrumento interpretativo para los otros gases.

$$\text{Índice de Graham} = \frac{100 \text{ CO}}{0,265 \text{ N}_2 - \text{O}_2} \text{ por ciento}$$

Mientras la oxidación está teniendo lugar, se produce monóxido de carbono, y la relación del mismo frente al oxígeno consumido aumenta. Esto continúa a través del estado de oxidación hacia la etapa de calentamiento para dar paso a la combustión. En este momento, el dióxido de carbono llega a ser el gas dominante y el **Índice de Graham** puede llegar a disminuir.

La dilución con el aire no afecta al Índice, pero los valores de deficiencia del oxígeno ($0,265 \text{ N}_2 - \text{O}_2$), de 0,2 o incluso menos, disminuyen el margen de confianza de la lectura ya que un pequeño aumento en el monóxido de carbono puede causar un aumento exagerado en el Índice. El Índice no sería válido si el aire que alimenta el calentamiento es en sí mismo deficiente en oxígeno.

Los valores típicos son:

≤ 0,4	Normal
0,5	Inspección de la situación
1	Calentamiento probable
2	Calentamiento severo
3	Combustión abierta

Es preferible observar las tendencias que los valores absolutos ya que las características de las distintas capas de carbón difieren entre sí.

El Índice de Graham puede utilizarse, bajo ciertas circunstancias, para indicar el estado de un fuego sellado. Si el monóxido de carbono remanente es absorbido u oxidado después de que un fuego haya dejado de producir dicho gas, el Índice de Graham disminuirá rápidamente una vez que la combustión haya cesado.

Hay capas de carbón en las cuales el monóxido de carbono puede ser absorbido o no cuando la combustión cesa, permaneciendo alto el Índice de Graham (Willett, 1951). En estas circunstancias, el dióxido de carbono puede utilizarse como indicador de si el fuego se encuentra encendido o apagado.

Esto se complica por el hecho de que el dióxido de carbono se produce como un gas natural de la capa, de la misma manera que el metano. Si no hay fuego, el dióxido de carbono mantendrá una relación constante con el resto de gases que se produzcan de forma natural. En caso de que sí que lo haya, se producirá más dióxido de carbono y la relación se modificará. Esta es la base del **Índice de Willett**.

$$\text{Índice de Willett} = \frac{100 CO}{\text{Exceso de } N_2 + \text{Combustibles totales} + CO_2} \text{ por ciento}$$

$$= \frac{100CO}{(N_2 - 3,78 O_2)(CH_4 + H_2 + CO) + CO_2}$$

No hay unos valores universales “típicos” por lo cuales el Índice de Willett pueda ser interpretado. Es recomendable establecer unas tendencias y valores para Índice de Willett en las zonas selladas durante el desarrollo normal del minado, y usar, posteriormente, estos valores como guías cuando se sellan zonas de la misma capa y localidad para extinguir un fuego.

La combustión de 1 kg de carbón produce, normalmente, 0,031 m³ (31 litros) de dióxido de carbono, de modo que, para medir la relación de la combustión mediante un método indirecto, se mediría la relación de la corriente de aire con la concentración de monóxido de carbono, y de esta manera se calcularía la relación de la producción de monóxido de carbono.

Una relación de la producción de monóxido de carbono de más de 10 litros por minuto es causa de preocupación, mientras que más de 20 litros por minuto es un signo evidente de combustión espontánea.

En el uso del Índice de Graham debe tenerse cuidado de asegurar que no haya monóxido de carbono en el aire que alimenta el calentamiento, o, en el caso de que haya, tenerlo en cuenta. Esto se haría calculando el Índice de Graham en el lado de la toma y de retorno de aire del supuesto fuego o calentamiento, y, de esta manera, se llegaría, a través del calentamiento, al aumento en el Índice de Graham. Podría aplicarse la misma técnica para la producción de monóxido de carbono.

El **Índice de Trickett** se basa en el cálculo de los productos gaseosos teóricos de una explosión de metano puro y una explosión de polvo de carbón puro. Una explosión de metano puro daría como resultado un Índice de Trickett de 0,5, mientras que una

explosión de polvo de carbón puro daría un Índice de Trickett de 0,87. La primera intención de Trickett y Jones (1954) llevando acabo este trabajo, fue tener la capacidad de distinguir entre una explosión de metano y una explosión de polvo de carbón.

Si no existe fuego, el dióxido de carbono mantendrá una relación estrecha con los otros gases producidos de forma natural. Sin embargo, si existe fuego, sería necesario un mayor estudio del Índice de Trickett sobre fuegos y explosiones:

Para explosiones:

Índice de Trickett	Casos
0,5	El metano es el único combustible
0,87	El polvo es el único combustible
0,5 - 0,87	Tanto el metano como el polvo actúan como combustibles

Para fuegos:

Índice de Trickett	Casos
<0,4	No hay fuegos, probablemente hay gases residuales
0,4 - 0,54	El metano es el único combustible
0,55 - 0,8	Tanto el metano como el polvo actúan como combustibles
0,8 - 1,0	El carbón es el único combustible
>1,0	La madera es el combustible probable
>1,6	Imposible

El hecho es que es imposible que el Índice de Trickett supere el 1,6, lo que lo hace una herramienta muy útil para inspeccionar si se han llevado a cabo de forma correcta el proceso de toma de muestras y el proceso de análisis. Es recomendable, además, calcular el Índice de Trickett como un “ensayo adicional” de estos procesos.

$$\text{Índice de Trickett} = \frac{CO_2 + 0,75 CO - 0,25 H_2}{0,265 N_2 + O_2}$$

O, si están presentes el etileno (C₂H₄) o etano (C₂H₆);

$$\text{Índice de Trickett} = \frac{CO_2 + 0,75 CO - 0,25 H_2 + 0,5 C_2 H_4 + 0,25 C_2 H_6}{0,265 N_2 + O_2}$$

El **Índice de Morris** puede utilizarse para estimar la temperatura de un calentamiento. Este Índice aumenta cuando la temperatura aumenta, alcanzando un pico de temperatura de 373 K, después del cual comienza a descender, aumentando aún más la temperatura, elevándola a 523 K. Es importante observar la tendencia desde el comienzo, ya que puede aparecer un valor concreto en la parte superior del ciclo a muy bajas temperaturas, o puede aparecer dicho valor en la parte baja del ciclo a muy altas temperaturas. El Índice no es válido si se utiliza la inertización de nitrógeno para extinguir el fuego.

$$\text{Índice de Morris} = \frac{N_2}{CO + CO_2} \text{ por ciento}$$

La relación CO/CO₂ alcanza un valor concreto donde tiene lugar la inertización de nitrógeno. Este valor aumenta rápidamente con la temperatura a la cual la combustión en llamas comienza, y, después, el valor permanece constante mientras la temperatura continúa incrementándose. El valor en ese momento es menor que 1.

A veces se utiliza el caso contrario, donde los valores son mayores que la unidad y la tendencia de los valores, con el aumento de la temperatura, es inversa. Los resultados pueden ser falsos si cualquiera de los gases proviene de una fuente distinta al fuego.

Las relaciones siguientes son también indicadores útiles:

$$\frac{CH_4}{C_2H_6 + C_3H_8} = \frac{\text{Metano}}{\text{Etano} + \text{Propano}}$$

En las etapas iniciales de un calentamiento, la emisión de etano y propano aumenta con la del metano debido a la destilación, y, de esta manera, la relación disminuye. Cuando el fuego está extinguiéndose la relación disminuye, y cuando se ha apagado se estabilizará.

Cuando tiene lugar la inertización de nitrógeno pueden utilizarse cualquiera de los siguientes relaciones:

$$\frac{CO}{CH_4} \text{ ó } \frac{CO_2}{CH_4}$$

Cuando las lecturas se encuentran completamente distorsionadas, por ejemplo, por la inertización con CO₂, la única lectura válida es el contenido de oxígeno.

Cualquier valor mayor de 2% significa que el fuego puede estar todavía activo. Si el valor se encuentra entre el 1% y el 2% puede permanecer la autocombustión de forma indefinida.



SECRETARÍA GENERAL
DE ENERGÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA
Y MINAS

ANEXO B

PROPENSIÓN DEL CARBÓN A LA AUTOCOMBUSTIÓN



ANEXO B. PROPENSIÓN DEL CARBÓN A LA AUTOCOMBUSTIÓN

Es necesario definir una serie de términos antes de entrar a explicar los diferentes métodos para establecer la propensión de un carbón a la autocombustión. El primero de todos es la *temperatura de ignición*; es la temperatura mínima para que un producto entre en combustión de forma espontánea.

Es importante saber que para que una nube de polvo de carbón entre en ignición, debe alcanzar la *temperatura mínima de ignición de la nube*, la cual se define como la temperatura más baja a la cual en una suspensión de polvo se produce espontáneamente la ignición y propagación de la llama. La energía mínima de una chispa para producir la ignición del polvo en suspensión, se define como *energía mínima de ignición*, y su valor varía en función del tipo de polvo y del tamaño de éste.

Pero además de poder entrar en ignición una nube de polvo, puede inflamarse la capa formada por el depósito de carbón sobre una superficie caliente. En este caso se hablará del término *temperatura mínima de ignición en capa*.

Existen distintas metodologías de ensayo con el fin de establecer la tendencia a la autocombustión del carbón, mediante alguna propiedad característica. Se podría decir, que cada centro de investigación ha desarrollado su propio método. No hay una unificación de criterios y se vienen empleando los medios disponibles con resultados muy dispersos y de fiabilidad muy baja.

Existen fundamentalmente dos métodos para la caracterización del carbón, basados en su avidez por el oxígeno (oxidación), y los que se refieren a datos térmicos. Entre los primeros se encuentran los análisis de peroxocompuestos y relativos al estudio de la velocidad de oxidación del aire ambiente.

Por otra parte, entre los métodos de estudio de datos térmicos, más numerosos y extendidos, cabe señalar los ensayos de inflamabilidad, estudio del comportamiento en la combustión a temperatura ambiente, ensayo de combustión a temperatura elevada, ensayos de velocidad de combustión, análisis de la temperatura de inflamación (inflamación en nube e ignición en capa) y de autoignición (ensayo de temperatura de autoignición relativa).

Además, están los análisis de la descomposición isoterma con todas sus variantes, térmico diferencial, análisis térmico gravimétrico asociado a ATD, determinación de la descomposición exotérmica, calorimetría adiabática, método del agua oxigenada y, el índice Olpinski.

Técnicas experimentales para la caracterización de la susceptibilidad a la autocombustión de un producto

El parámetro que más condiciona el proceso de combustión espontánea es el material. En este apartado vamos a describir los ensayos utilizados para caracterizar la susceptibilidad de un producto a la autocombustión.

- **Crosspoint**

Este método somete la muestra a un calentamiento con una rampa de temperatura programada en una atmósfera oxidante dentro de un baño calefactor.

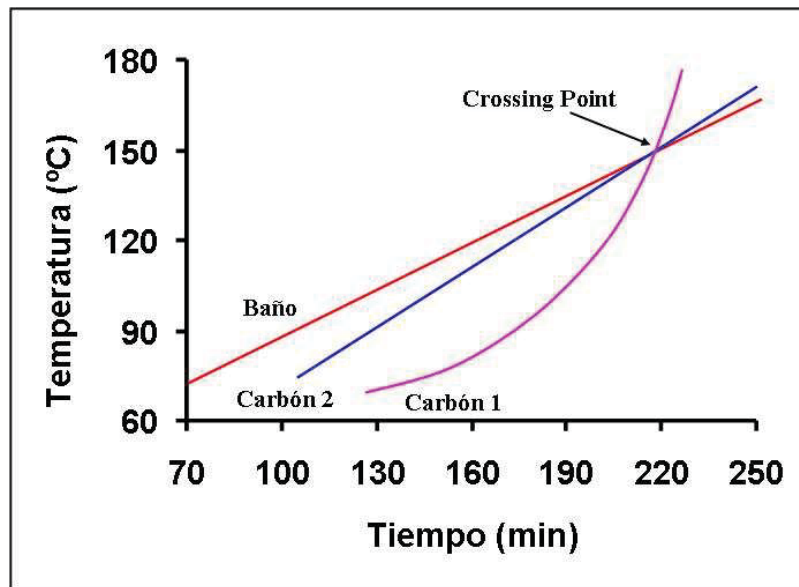


Figura II. Curvas Ensayo Crossing Point

La temperatura más baja a la que se automantiene la reacción exotérmica en la muestra se denomina Crossing Point, o temperatura crítica de oxidación. Tal como se ve en la Figura II, la temperatura de Crossing Point es el punto de cruce entre la curva del baño calefactor y la de la muestra; momento a partir del cual la temperatura de la muestra supera la del baño por el propio calor emanado.

Son dos los valores más importantes en este ensayo: por un lado, el valor del Crossing Point (punto de cruce), que es una temperatura, y por otro, el valor de la pendiente de dicho punto. Cuanto menor sea la temperatura y mayor la pendiente, mayor es la propensión del producto a la autoignición. Así, en la figura II, el carbón 1 es más susceptible de autoignición que el carbón 2, ya que, teniendo igual de temperatura que el Crossing Point, tiene mayor pendiente.

- **Temperatura de inflamación de volátiles (TIV)**

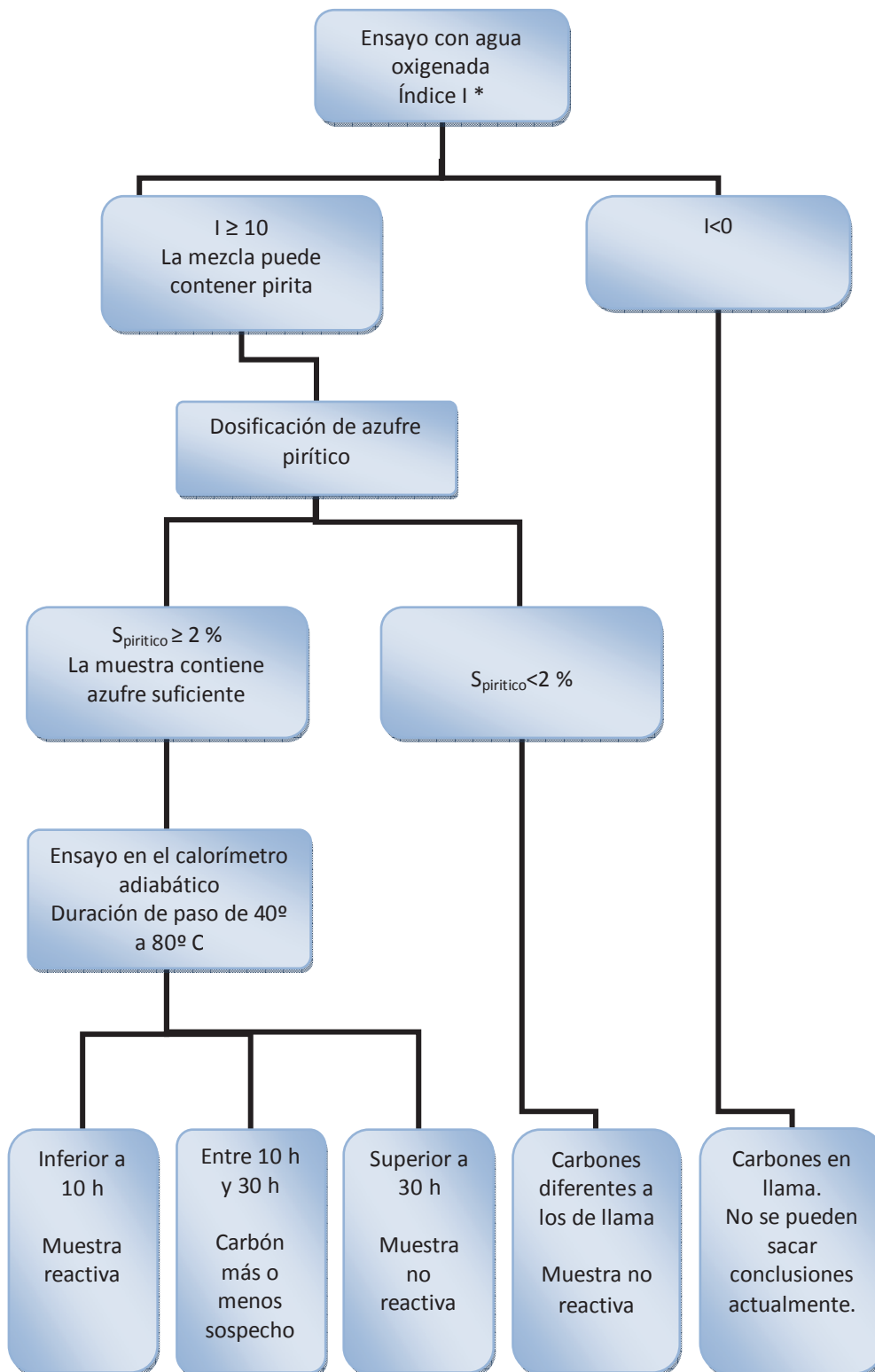
Se calienta la muestra hasta alcanzar los 573 K. Se somete la parte volátil que pueda haber liberado la muestra a una fuente de ignición y se observa si se produce inflamación. Es un método muy interesante para determinar la

peligrosidad debida a la descomposición de productos orgánicos, y otros compuestos que se descompongan dando gases peligrosos.

- **Índice de Maciejasz (IM)**

Mide el tiempo requerido (t) para producir un incremento de temperatura de 65 K en una muestra sometida al ataque del peróxido de hidrógeno. El índice de Maciejasz se calcula como $IM = 100/t$.

Sirve para determinar la susceptibilidad a la autocombustión debida a la oxidación de ciertos compuestos de la sustancia, como, por ejemplo, de piritas en carbones. Este método se usa frecuentemente en carbones, especialmente cuando el contenido del azufre es alto.



* La prueba consiste en la oxidación de 10 g de carbón molido a 63 μm , por cm^3 de agua oxigenada al 20 %, midiendo la subida de temperatura (menos de 10 minutos para pasar de 298 K a 363 K).

- **Análisis termogravimétrico (TG)**

El ensayo de termogravimetría consiste en registrar las variaciones del peso que sufre una muestra de material oxidable al calentarlo mediante un aumento lineal de la temperatura en un horno y en presencia de aire.

La curva resultante, peso frente a temperatura, nos informa sobre las reacciones producidas. Frecuentemente se distinguen tres fases: un decremento de peso inicial (pérdida de humedad), un incremento de peso posterior (adsorción de oxígeno) y una rápida pérdida de peso (combustión).

De la curva de ensayo, y en relación con las tres fases descritas, se determinan tres parámetros que caracterizan los materiales entre sí:

- **TI** : Temperatura de inducción a la combustión
- **TDM** : Temperatura de máxima pérdida de peso
- **GP** : Ganancia de peso al principio del proceso de calentamiento.

- **Calorimetría diferencial (DCS)**

Se somete la muestra a una rampa de temperatura definida. Se registra la diferencia de temperatura entre la muestra y otra de referencia, situada también dentro del horno, determinando la diferencia de calor intercambiado por la muestra. Se caracterizan así los flujos de calor y se determinan los procesos exo y endotérmicos.

Los parámetros usados para caracterizar las diferentes sustancias son:

- **TIE** : Temperatura mínima de comienzo de la reacción exotérmica
- **TFE** : Temperatura máxima obtenida al final de la reacción exotérmica

- TCP : Temperatura de cambio de pendiente de la reacción exotérmica
- Termogravimetría con oxígeno (TG + O₂)

La termogravimetría convencional produce una curva característica que tarda mucho tiempo en producirse. Por ello, resulta difícil asignar una temperatura única de oxidación. En cambio, cuando empleamos oxígeno en vez de aire, la reacción se produce de forma más rápida y se obtiene un valor único de temperatura de oxidación. Se ha utilizado este valor para comprobar la tendencia a la reacción con oxígeno de diferentes carbones (ver figura III), mostrándose como un método muy adecuado para establecer una graduación de la sensibilidad a la autocombustión.

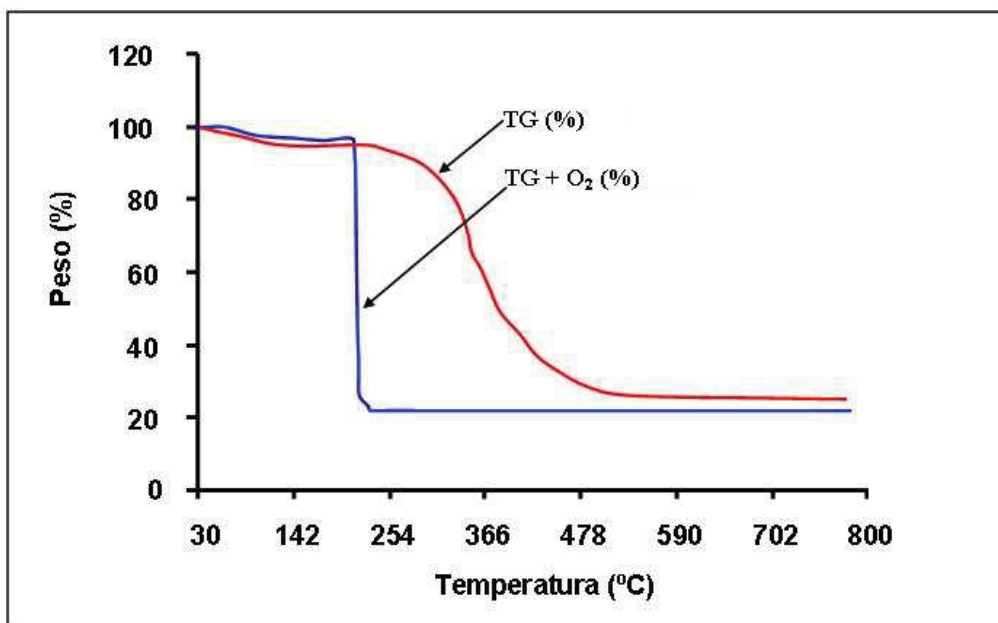


Figura III. Comparación de resultados TG frente a TG + O₂

- Energía de activación de Cummings (E_a Cummings)

El modelo cinético de Cummings, basado en la pérdida de peso producida durante el calentamiento de la muestra, nos da una relación entre la energía de activación y la pérdida de peso mediante la fórmula:

$$\ln\left(-\frac{1}{w} * \frac{dw}{dt}\right) = \ln A - \frac{Ea}{RT}$$

donde;

w: Peso de los inquemados (g)

dw/dt: Velocidad instantánea de pérdida de peso(g.s⁻¹)

A: Factor de frecuencia

Ea: Energía de activación (J mol⁻¹)

R: Constante universal de los gases (8,314 J mol⁻¹ K⁻¹)

T: Temperatura absoluta (K)

Mediante la técnica Termogravimétrica se somete a las muestra a una rampa de temperatura constante midiéndose las pérdida de peso. Se registra la pérdida de peso a lo largo del tiempo, y se escogen los puntos de la zona de máxima velocidad de pérdida de peso (figura IV). Mediante un algoritmo se ajusta una línea a dichos puntos y se obtiene a través de la pendiente la energía de activación aparente de Cummings.

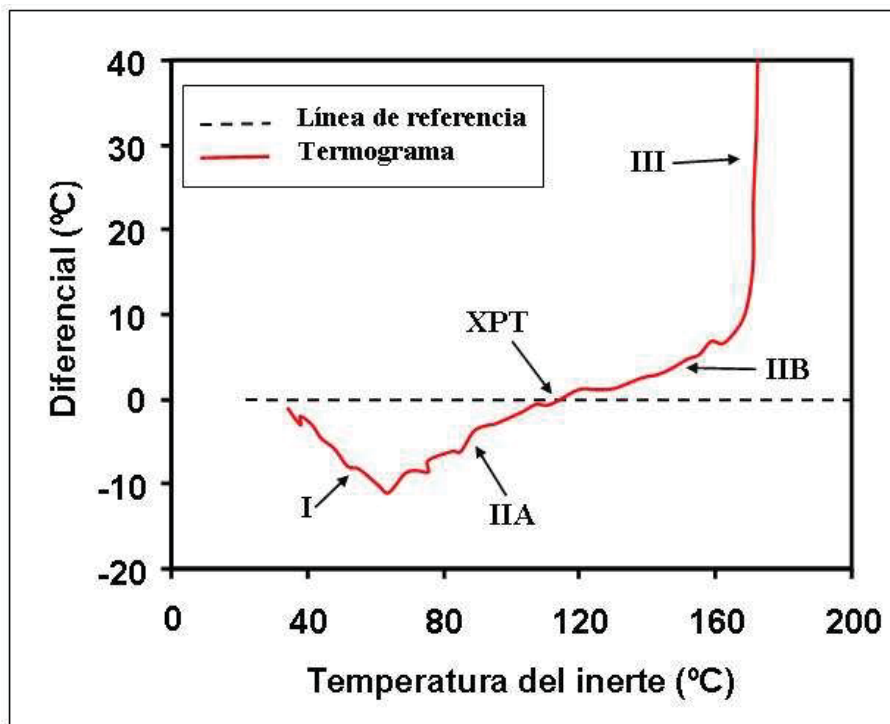


Figura V. Termograma típico del análisis de la diferencia térmica

En el estado 1, la temperatura del material de ensayo se encuentra bajo la del inerte de referencia, ya que el calor latente es requerido para evaporar la humedad del material de ensayo. Cuando toda la humedad es evaporada, comienza el estado 2 (a), y la temperatura del material de ensayo empieza a aumentar con respecto a la del medio inerte de referencia. Las dos temperaturas se van igualando y la temperatura a la cual ocurre esto se conoce como Temperatura en el Punto de Cruce (XPT). Comienza entonces el estado 2 (b), y, de esta manera, el proceso de calentamiento del material de ensayo comienza a ser exotérmico, y la temperatura del material de ensayo asciende sobre la del medio inerte de referencia. Mientras el proceso llega a ser más exotérmico incluso, la temperatura del material en estudio se incrementa de forma exponencial.

Este es el estado 3 del termograma. Debe tenerse en cuenta que los estados del termograma no se distinguen de forma tan clara como en la figura V.

La base del Índice de WITS-EHAC es que un carbón con propensión al calentamiento por sí mismo, tendrá un bajo XPT (o un alto valor de $\frac{1}{XPT}$) y una pendiente del estado 2 alta. (Si un punto en el eje de $\frac{1}{XPT}$ se une con un punto de la pendiente del estado 2, como muestra la figura VI, por una línea recta, se forma un triángulo). Cuanto mayor sea la propensión al autocalentamiento, mayor será el área del triángulo. El índice de WITS-EHAC es simplemente una medida del área del triángulo, es dada por:

$$\text{WITS – índice EHAC} = 0,5 \times \text{Pendiente del estado 2} \times \frac{1}{XPT} \times 1000$$

La correlación entre los valores de WITS – índice EHAC en áreas mineras específicas y la incidencia conocida de combustión espontánea ha sido bastante razonable (figura VI).

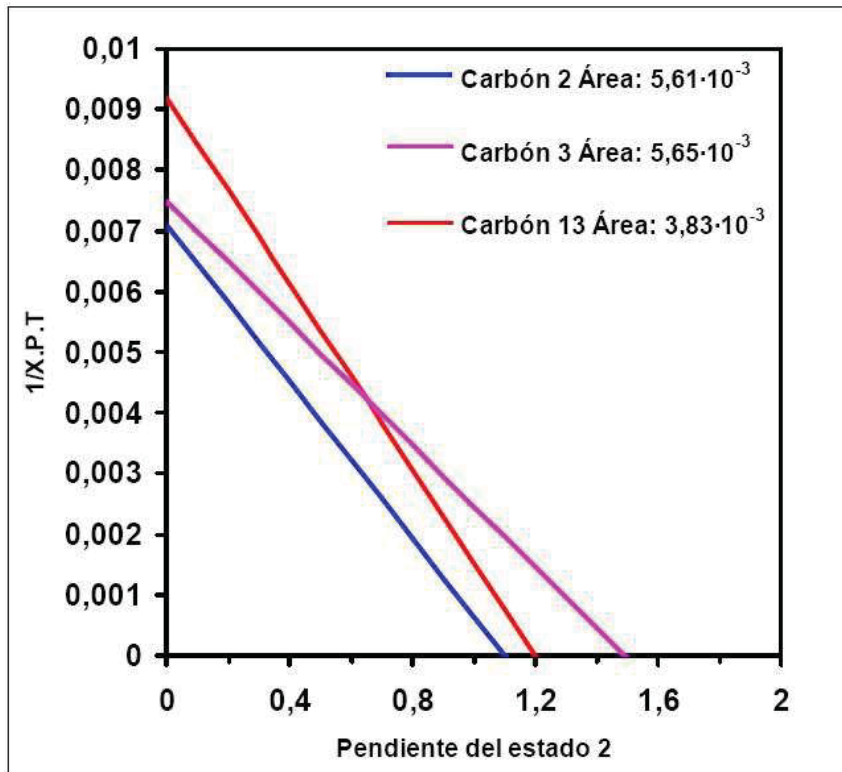


Figura VI.

Métodos de la estufa isoterma para la evaluación de la propensión a la autoignición

La base experimental para describir la susceptibilidad a la autocombustión de una muestra es la determinación de las temperaturas de autoignición de muestras de diferentes volúmenes (Norma VDI 3673 (2000). Guideline on venting of dust explosions).

Con este experimento, por tanto, se pretende simular los almacenamientos de productos pulverulentos. Los distintos volúmenes de ensayo simulan los volúmenes de almacenamiento, y la temperatura del horno, la temperatura de ambiente.

Para ello, se introduce la muestra en un horno a una temperatura fijada y se observa la evolución de la temperatura de la muestra respecto a la del horno a lo largo del tiempo. Tres son los comportamientos (figura VII) que se observan en los ensayos.

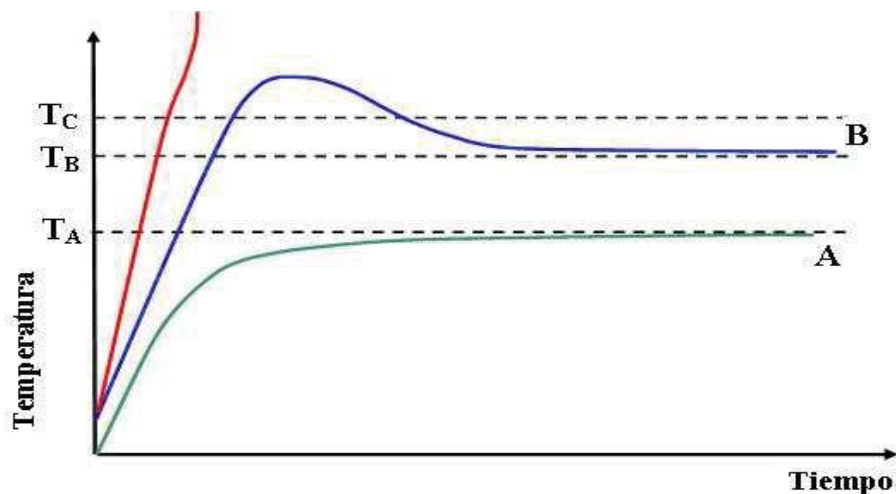


Figura VII. Tipos de curvas de Ensayos Isotermos

El comportamiento A se denomina subcrítico, ya que a la temperatura T_A del experimento la muestra gana temperatura hasta que tiende a la del horno. En este comportamiento está claro que la muestra no aporta ningún calor, por lo cual no hay ignición.

En el comportamiento B, se supera la temperatura del horno durante cierto tiempo recuperándose la temperatura del horno suavemente. Para que esto sea posible, ha tenido que producirse un aporte de calor por parte de las reacciones producidas en el interior de la muestra, pero sin ser reacciones intensas.

El comportamiento supercrítico dado por C, muestra cómo la producción de calor llega a un punto que sobrepasa las pérdidas de calor, alcanzándose condiciones no estacionarias, de manera que la temperatura de la muestra aumenta rápidamente.

En este caso, sí ha habido autoignición, ya que el material ha reaccionado intensamente elevando rápidamente la temperatura y dejando en la cesta de ensayo las cenizas del producto después de su combustión.



SECRETARÍA GENERAL
DE ENERGÍA
DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA
Y MINAS

ANEXO C

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CINTAS TRANSPORTADORAS



ANEXO C. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS CINTAS TRANSPORTADORAS

INTRODUCCIÓN

La información aquí contenida no deberá mirarse como completa en sí misma, ya que no es posible prever todas las circunstancias que puedan dañar la seguridad y eficiencia del equipo. Más bien, la información deberá considerarse como una guía según la naturaleza y el alcance de las revisiones que han de hacerse. Al llevar a cabo estas revisiones, deberá tenerse en cuenta que el objeto básico es mantener el equipo en condiciones seguras y eficientes.

Se llama la atención del usuario respecto a las obligaciones legales que se dan a los directores de minas y canteras. En el Reino Unido éstas incluyen las Regulaciones de Minas y Canteras, Salud y Seguridad en el Acta de Trabajo. Fuera del Reino Unido, el usuario deberá observar las leyes de seguridad del país en que el equipo este en funcionamiento. El personal que realice las revisiones deberá buscar cualquier factor, indicado en la documentación, que pueda disminuir la seguridad y eficiencia del equipo. Cualquier defecto que se encuentre, cuando se realicen las revisiones, deberá arreglarse siempre que se pueda. Los ingenieros o electricistas supervisores deberán llamar la atención inmediatamente a cualquier defecto que requiere acción urgente o que ocurra repetidamente.

Algunas comprobaciones de rutina se realizan sobre piezas o partes que pueden ser examinadas mientras que el equipo trabaja normalmente, siempre que, al hacerlo así, no haya peligro alguno para el personal que realiza la revisión. Donde haya peligro debe pararse el equipo y, una vez aislado eléctricamente, dejarlo sin peligro antes de hacer la revisión.

RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Las siguientes recomendaciones sobre conservación se derivan de la investigación y desarrollo, y de la observación de transportadores funcionando en condiciones muy diferentes.

El uso de un diseño unitario de construcción ayuda a la rápida sustitución de las piezas en el caso de una rotura.

La duración del equipo transportador estará relacionada directamente con el planteamiento de mantenimiento por parte del usuario. Deberá plantearse este mantenimiento preventivo y ejecutarse, estando el plan bajo revisión constante por parte del usuario. Debe ejercerse control sobre el trabajo de mantenimiento para asegurar que es llevado a cabo hasta un nivel aceptable.

Repuestos

Para servir y mantener al equipo adecuadamente, es importante la disponibilidad de repuesto. Merece la pena el esfuerzo empleado en la programación de las unidades y subcomponentes, sobre una base de un 'stock' mínimo de piezas de repuesto, de acuerdo con la experiencia operacional del proveedor y del usuario.

Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo deberá ser la espina dorsal del mantenimiento, siendo su fin impedir las roturas y salvaguardar la producción.

El tiempo empleado en el mantenimiento preventivo puede planificarse para producir los máximos beneficios con un mínimo de inconveniencia al ciclo de producción.

El mantenimiento preventivo se clasifica como sigue:

a) Limpieza y lubricación

Es ésta una actividad continua y probablemente representa la medida preventiva más importante de todas.

b) Comprobación

Cuando el equipo esta en funcionamiento, compruébese que trabaja perfectamente, usando las facultades de la vista, el tacto, el oído y el olor.

c) Mantenimiento parando el equipo

Puede resultar necesario el desmontaje del equipo en busca de un futuro fallo así como hacer reparaciones y ajustes. El tiempo de este trabajo está asociado con los períodos de parada normal, por ejemplo, fines de semana o periodos de vacaciones.

d) Revisiones mayores

La máquina será puesta fuera de servicio cuando se organiza una revisión mayor, ya sobre el terreno o en los talleres, de forma que se complete en un período determinado.

ADVERTENCIAS

- No existe sustituto alguno para una alineación y nivelación correcta con el fin de conseguir un funcionamiento adecuado de la cinta.

- La línea central de los tambores, juegos de rodillos portantes y rodillos de retorno, deben estar en la línea central de la estructura soporte. Los rodillos portantes y de retorno deben estar en ángulo recto con la línea central de la cinta, y deberán colocarse en forma horizontal mediante un nivel de burbuja de aire.

- Deberá dejarse un amplio espacio para trabajar a ambos lados del transportador, y por encima del pico de vertido, cabeza motriz, dispositivo de tensado y tambor de retorno.

- Deberán asegurarse de que el fabricante del transportador ha sido consultado sobre el tipo de banda transportadora que se debería emplear. De igual forma, el fabricante de la banda debería ser consultado y debería conocer las características del equipo transportador. A menos que el transportador y la banda sean compatibles, pueden preverse dificultades de alineación, alargamiento, y, quizá, una menor duración de la banda, etc.

Es preferible hacer el pedido del transportador y de la banda al mismo proveedor. De esta manera, la responsabilidad sólo recae en un proveedor en lo que respecta a un rendimiento eficiente del transportador.

MANTENIMIENTO DE LA BANDA

Los requerimientos básicos son que las estructuras del transportador deben estar alineadas, niveladas y que todos los pies estén en ángulo recto con la estructura del transportador. Es también importante que los tambores, juegos de rodillos y rodillos de retorno estén limpios de material acumulado, de manera que sus superficies estén cuadradas y alineadas. Si se cumplen estas normas y los empalmes de la cinta son cuadrados, se habrán eliminado las principales causas del desplazamiento de la banda.

La banda deberá ser bien colocada cuando está **vacía**, ajustando los rodillos en la zona anterior a la que se ha observado que la cinta marcha desplazada. Ya que la banda de retorno el borde de la misma se daña más fácilmente, deberá corregirse la primera.

TENSADO DE LA BANDA

La banda no deberá tensarse más de lo que sea necesario para impedir el desplazamiento sobre el tambor o los tambores motrices bajo las condiciones más extremas.

Esta tensión de la banda debe ser también suficiente para soportarla cargada entre rodillos, sin una excesiva comba de la banda en el punto de tensión mínima. Una excesiva tensión en el ramal flojo de la cinta (es decir, por encima de lo que se recomienda) no tiene ventaja alguna, y puede producir la rotura de los empalmes, reducción en el factor de seguridad de la banda y una carga extra sobre cojinetes y ejes.

PUNTOS DE CARGA

Deberá prestarse debida consideración al tipo de equipo a emplear para formar los puntos de carga en el sistema del transportador. Este equipo puede incluir machacadoras o alimentadores de uno u otro tipo.

Los puntos de carga deberán estar dispuestos para descargar el material sobre el centro de la cinta y en su dirección de marcha. La velocidad del material deberá ser lo más parecido al de la banda.

Deberán utilizarse rodillos de impacto con poca separación. Donde sea posible, deberán usarse unas canales que permitan al material fino pasar a la banda y de esta forma preparar un lecho de amortiguamiento sobre el que caiga el material restante.

PREVENCIÓN DE INCENDIOS

El peligro de incendios en los sistemas de cintas transportadoras, especialmente en las minas subterráneas de carbón, puede reducirse mediante:

- (a) Usando banda ignifuga en el transportador.
- (b) Limpiando frecuentemente. No debe permitirse que alrededor de la cinta transportadora se acumulen terrenos, finos o polvo. Deberá evitarse un derrame excesivo de lubricantes.
- (c) Asegurándose de que los cables eléctricos, dispositivos de protección y compartimentos eléctricos se mantienen limpios y secos. Deberán tomarse todas las precauciones posibles para impedir cortocircuitos.
- (d) Asegurando el funcionamiento correcto del equipo eléctrico, tal como protectores de deslizamiento de banda, unidades de protección, transductores de comprobación de temperatura, interruptores seguros al fallo de los frenos, equipo para la supresión de polvo, etc.

INSPECCIÓN Y EXAMEN

El mantenimiento adecuado de una cinta transportadora significa que hay que tenerla limpia en todo momento. La cinta transportadora podría ser inspeccionada todos los días por un hombre equipado con una lista de comprobación de mantenimiento.

El hombre que realiza diariamente la inspección de la banda, dará inmediatamente un informe de cualquier parte de la banda o empalmes que estén dañados seriamente,

parándose la cinta para efectuar reparaciones de emergencia. La banda es vulnerable y cara, por lo que se recomienda una inspección frecuente y total.

Para seguridad de los operarios de mantenimiento y los demás, es esencial que los usuarios del transportador definan claramente las tareas de mantenimiento que han de llevarse a cabo solamente cuando el transportador esté parado.

En las páginas siguientes se indica un programa de mantenimiento rutinario.

Además de las tareas especificadas que se indican en la sugerida lista de mantenimiento, véase diariamente:

- (a) Que la máquina o equipo está en orden de trabajo seguro y eficaz, y que funciona correctamente.
- (b) Que todos los accesorios y componentes estén intactos y libres de cualquier defecto o desgaste excesivo.
- (c) De que no existen bulones, espárragos o remaches sueltos, o que falten, y que las cubiertas de inspección están colocadas en su sitio.
- (d) Que la lubricación ha sido efectuada correctamente, que todos los niveles de aceite sean adecuados y que los sistemas automáticos de lubricación funcionan correctamente.
- (e) Que no hay ruidos anormales, vibración o calentamiento, particularmente en engranajes y cojinetes.
- (f) Que no hay derrames de aceite, aire, vapor o agua.

- (g) Que todos los dispositivos de protección están colocados en su sitio, mantenidos correctamente, y que los dispositivos de protección dañados son sustituidos por otros nuevos o reparados sin demora.
- h) Que los medios para la lucha contra incendios se encuentran a mano.
- (i) Que el equipo o aparatos está razonablemente limpio y libre de acumulación de suciedad o polvo, y capaz de operar libremente.

PROGRAMA QUE SE SUGIERE PARA EL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE CINTAS TRANSPORTADORAS

1.1 Diariamente

- 1.1.1 Compruébese la alineación de la cinta transportadora a través de la cabeza motriz, estación tensora, pico de vertido, tambor de retomo, etc., y examínese cuando sea necesario.
- 1.1.2 Véase si los reductores, acoplamientos, motores y todos los cojinetes de los tambores tienen temperaturas anormales.
- 1.1.3 Véase si los limpiadores de banda están en contacto correcto con la misma.
- 1.1.4 Véase si todos los “scrapers” de limpieza del tambor están ajustados correctamente, y límpiense retirando cualquier acumulación de material que se haya formado.
- 1.1.5 Véase si hay derrame de aceite en los reductores, acoplamientos hidráulicos, reductores de cabrestantes, pulsadores de los frenos y otros puntos importantes.

- 1.1.6 Compruébese la tensión de la banda funcionando en vacío en el indicador de tensión si lo hubiere. Vean las recomendaciones que se dan sobre la tensión de la banda. Háganse los ajustes necesarios.
- 1.1.7
- (a) Compruébese el carro de tensado de la cinta con objeto de ver si hay libertad de movimiento en sus raíles.
 - (b) Límpiense aquellas partes de la estructura en las que se haya adherido material.
 - (c) Compruébense las abrazaderas de sujeción del carro respecto a limpieza y ajuste.
- 1.1.8 Compruébense todos los tambores para ver si existen signos de derrame de grasa de los retenes, pues ello podría indicar desgaste de los retenes y/o cojinetes.
- 1.1.9 Véase si hay derrames o suciedad y límpiense.
- 1.1.10 Compruébese el alineamiento de la estructura del transportador e infórmese de aquellas secciones que necesiten atención.
- 1.1.11 Hágase una comprobación sistemática para ver si los rodillos portantes y de retorno se encuentran gastados o sucios. Compruébense el soporte y sujeción de los rodillos.
- 1.1.12 Obsérvense sistemáticamente e infórmese sobre el estado de los empalmes de la banda. Los empalmes donde haya alguna duda o sospecha deberán estar sujetos a una inspección más estrecha durante los períodos sin producción. Deberán investigarse las

características del daño en los empalmes para descubrir el origen de los problemas.

- 1.1.13 Véase si los dispositivos de protección están colocados correctamente. Infórmese de los que falten.

1.2 Semanalmente

- 1.2.1 Llévase a cabo el procedimiento diario y, además:
- 1.2.2 Compruébense todos los niveles de aceite de las cajas de engranajes y llénese cuando sea necesario utilizando el tipo de aceite recomendado.
- 1.2.3 Si se usan embragues de cuchara, comprobar:
- (a) El mecanismo de inserción de la cuchara. Límpiense, ajústese y lubríquese si fuese necesario.
 - (b) El funcionamiento del mecanismo de “cuchara en posición” y “cuchara quitada”.
- 1.2.4 Compruébese el nivel de aceite en el cilindro del pulsador del freno y llénese con el aceite recomendado cuando el freno está puesto.
- 1.2.5 Compruébese la acción del freno, límpiense y ajústese cuanto sea necesario. Véase si hay desgaste en las zapatas del freno.
- 1.2.6 Compruébese para ver si están en orden y funcionan bien los interruptores limitadores seguros al fallo.

1.2.7 Compruébese cuidadosamente y véase si todos los puntos o extremidades de los pivotes y trabajo de eslabonaje del freno están libres. Límpiense la suciedad y polvo y aplíquese un poco de aceite a todos los puntos o extremidades de los pivotes. Téngase cuidado en no contaminar el tambor o las zapatas del freno con aceite o grasa.

1.2.8 En las cabezas motrices compruébense que los soportes de par de reacción de la unidad de transmisión están correctamente.

NOTA: en las unidades de transmisión que tienen amortiguadores flexibles, cada parte del amortiguador de caucho se encuentra asegurado por un bulón con saliente o reborde de manera que la parte del amortiguador tenga alguna libertad de movimiento.

1.2.9 Véase la acción del cabestrante de tensado de banda haciéndolo funcionar brevemente en ambas direcciones. (Compruébense en ambas direcciones). Compruébense los cables del cabestrante por si estuviesen desgastados y para su correcta colocación en todas las poleas.

1.2.10 Véase que las poleas de los cables giran con libertad y sin materias extrañas que impidan su movimiento.

1.2.11 Vuelva a ponerse la tensión de banda en la cifra requerida para funcionamiento de cinta vacía.

1.2.12 Quítense la suciedad acumulada en y alrededor de la caja de engranajes, protección del acoplamiento hidráulico y motor.

- 1.2.13 Asegúrense de que todas las placas en que haya avisos o instrucciones estén limpias, visibles y fijadas con seguridad.

1.3 Mensualmente

- 1.3.1 Llévase a cabo el procedimiento semanal y, además:
- 1.3.2 Véase si los bulones de base se encuentran apretados en todos los tambores.
- 1.3.3 Compruébense los tambores motrices revestidos, para ver si hay desgaste.
- 1.3.4 Compruébense la cara plana de los tambores por si hubiese desgaste cóncavo en el diámetro exterior.
- 1.3.5 Véase si el tambor del freno está desgastado, arañado, etc.
- 1.3.6 Compruébese los bordes de los limpiadores de banda y limpiadores de limpieza de los tambores por si estuviesen desgastados. Ajustense o cámbiense si fuese necesario.
- 1.3.7 Engrásense ligeramente los pasadores de las poleas de cable de los cabrestantes. Lubríquese el cabestrante manual.
- 1.3.8 Compruébese la colocación del cable del cabestrante. Véase, también, si existe daño o desgaste.
- 1.3.9 Examínese el bobinado del cable del cabestrante para su correcta colocación en el tambor de cable del cabestrante de tensado.

1.4 Semestralmente

- 1.4.1 Llévese a cabo el procedimiento mensual y, además:
- 1.4.2 Engrásense, sin excederse todos los cojinetes de los tambores si tienen engrasadores. Quítese toda la grasa sobrante que pueda haber rezumado por los retenes o engrasadores. En caso de que no existan engrasadores, véase el programa anual, 1.5.2.
- 1.4.3 Vacíese, límpiense con agua y vuelvan a llenarse los reductores. Límpiense o renuévese el filtro de aceite donde resulte apropiado. Envíense muestras del aceite usado para analizar con el fin de establecer el futuro periodo de cambio del aceite.
- 1.4.4 En las cabezas motrices con engranajes secundarios compruébese la lubricación y rellénese si fuese requerido.
- 1.4.5 Compruébese el nivel de fluido en el acoplamiento hidráulico y rellénese por completo con el fluido especificado si fuese necesario. Véase si existen derrames en los acoplamientos o desgaste en los cojinetes/retenes.
- 1.4.6 El mantenimiento eléctrico deberá asegurar un funcionamiento seguro y correcto de todos los circuitos de control y comprobación, así como de los dispositivos electromecánicos relacionados con ellos.

Deberán examinarse los cables y comprobarse la suficiencia de su apoyo.

En las cabezas motrices, de motor múltiple, deberá prestarse una especial atención a la secuencia correcta de funcionamiento de los motores, acoplamientos de cuchara, 'levantamiento' y aplicación del freno, etc., y la interconexión de ellos a una condición " segura al fallo".

1.5 Anual

1.5.1 Llévase a cabo el mantenimiento semestral y, además:

1.5.2 En el equipo en que se utilicen cojinetes de base (por ejemplo, en los tambores motrices), se aconseja a los usuarios que los desarmen, quiten toda la grasa vieja, limpien e inspeccionen, y los carguen aproximadamente por la mitad con grasa nueva. Como se ha recomendado cada seis meses, los engrasadores pueden ser utilizados para hacer la lubricación, pero es aconsejable adoptar el sistema de desmontarlos anualmente, limpiarlos y rellenarlos. Antes de efectuar el desmontaje, hay que asegurarse de que la zona alrededor de cada cojinete está limpia, de manera que el cojinete no se vea contaminado con suciedad.

1.5.3 Compruébese el alineamiento de los acoplamientos hidráulicos. Esto es necesario en las cabezas motrices que emplean acoplamientos del tipo de cuchara o acoplamientos del tipo de tracción.

No es necesario en el caso de los acoplamientos hidráulicos que tienen conexión chaveteada al eje de la entrada del reductor.

- 1.5.4 Límpiense las válvulas de vaciamiento rápido en los acoplamientos de cuchara.

1.6 En todo momento

- 1.6.1 El nivel del aceite de todos los reductores, acoplamientos hidráulicos y frenos deberá comprobarse cuando el aceite esté frío y el transportador parado.
- 1.6.2 No debe llenarse ningún reductor por encima del nivel que se recomienda. Un llenado excesivo hará que el aceite se agite con violencia dando como resultado perdidas y recalentamiento.
- 1.6.3 Límpiense siempre la suciedad que pueda haber en los puntos de llenado o lubricación antes de hacerlo. Tras el llenado, quítese el aceite o grasa sobrante.
- 1.6.4 En caso de que haya algún recalentamiento indebido, el acoplamiento hidráulico deberá drenarse y rellenarse después.

Esto es de particular importancia si el acoplamiento se llena con fluido inflamable de ester-fosfato, ya que la temperatura elevada afecta permanentemente las características de ese fluido. Además, en los acoplamientos del tipo de cuchara, si hubiese habido recalentamiento, deberán examinarse las válvulas de vaciamiento rápido, limpiándolas o sustituyéndolas.



SECRETARÍA GENERAL
DE ENERGÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA
Y MINAS

ANEXO D

MEDIDAS PREVENTIVAS FRENTE AL RIESGO DE INFLAMACIÓN DE UNA ATMÓSFERA EXPLOSIVA POR LA PRODUCCIÓN DE CHISPAS



ANEXO D. MEDIDAS PREVENTIVAS FRENTE AL RIESGO DE INFLAMACIÓN DE UNA ATMÓSFERA EXPLOSIVA POR LA PRODUCCIÓN DE CHISPAS

Las picas cónicas que trabajan por trituración producen menos polvo cuando:

- a. la densidad de picas en el cabezal no es muy alta.
- b. la velocidad de corte es baja.
- c. la cabeza de la pica tiene un diseño alargado y estrecho.
- d. la punta de carburo tiene un diámetro pequeño.
- e. la pica tiene aristas vivas y es giratoria.

En relación con el sistema de inyección de agua del órgano de corte, se ha de mencionar la posibilidad de inyectar agua desde el portapicas. De esta forma, la supresión del polvo se puede llevar a cabo en el mismo lugar en que se genera. Algunos minadores están equipados con el llamado “dispositivo de inyección segmentada de agua”, que permite lanzar el agua únicamente al segmento de corte.

Finalmente, existe un desarrollo de considerable importancia para la seguridad en las minas europeas. Cuando las máquinas excavan galerías subterráneas de minas, cuya roca tiene un contenido alto en cuarzo, existe constantemente el peligro de que las chispas producidas causen la ignición de una mezcla de aire y gas metano.

La producción de chispas se genera principalmente por la intensa fricción entre la roca y la punta de carburo ó el acero de la pica. La zona más crítica y peligrosa de chispas de mineral se produce siempre unos pocos centímetros detrás de la punta cortante de la pica. Los institutos alemanes de investigación han llevado a cabo un estudio sistemático de la generación y supresión de chispas de mineral, habiendo encontrado una solución práctica en las pruebas realizadas. Si durante el proceso de corte se inyecta continuamente agua a presión en la zona peligrosa de fricciones térmicas, resulta posible mantener el potencial de calor por debajo de la

temperatura necesaria para que se produzca la ignición. Sin embargo, también es preciso mantener, tan baja como sea posible, la cantidad de agua utilizada. Para conseguir ambos objetivos, se debe diseñar un sistema de utillaje que lleve incorporada una válvula individual controlada por la pica, de forma que la inyección de agua solamente se produzca durante el proceso de corte. La presión de agua necesaria oscila entre 120 y 150 bar y la cantidad de agua suficiente para suprimir las chispas es de 21 litros/minuto aproximadamente.

El agua inyectada en el espacio existente detrás de la cabeza de la pica enfría esta y prolonga su duración de servicio. Por lo tanto, este nuevo desarrollo tiene como objetivo principal la reducción del riesgo de ignición. Pero proporciona al mismo tiempo las ventajas secundarias del control del polvo y del enfriamiento de las barrenas, que contribuye a aumentar su vida de servicio. El sistema descrito no debe confundirse con el método de extracción de minerales utilizando un chorro de agua a presión como sistema auxiliar de corte. Este método de extracción exige una presión del agua de 500 - 2000 bar, dependiendo de la dureza de la roca y el agua se inyecta hacia ésta, justo delante de la pica.

ANEXO E

EQUILIBRADO DE PRESIONES

ANEXO E. EQUILIBRADO DE PRESIONES

Cómo equilibrar las presiones

DISPOSITIVOS ELEMENTALES DE REGLAJE DE LA PRESIÓN

Los métodos más simples de equilibrado de las presiones de dos puntos A y B entre los que puede establecerse un circuito de fugas, son tres:

- 1°) Por disposición de dos ventiladores principales.
- 2°) Por disposición de dobles puertas.
- 3°) Por disposición de puerta y ventilador auxiliar.

Tomando la presión barométrica como referencia que se llamará O (cero), P_a será la presión en el punto A en milímetros de columna de agua y H_{ab} la pérdida de carga entre 2 puntos A y B igualmente en mm de agua.

La combinación de tres dispositivos elementales permite obtener en un punto cualquiera de la mina la presión escogida sin modificar los caudales.

1° - DISPOSITIVO DE DOS VENTILADORES PRINCIPALES (Figura VIII)

Se considera el circuito ES con dos derivaciones: Cuartel 1 y Cuartel 2. Supongamos que la diferencia de carga de E a S son 200 mm C.A.

Se supone un solo ventilador en S: La curva de pérdida de carga se representa por una raya continua, que corresponde al circuito EXAYS. La presión en A, son 140 mm C.A.

Si se desea obtener en A una presión o "carga" próxima a cero, habrá que disponer en E un ventilador soplante que produzca una sobrepresión $H_{ea} = 140$ mm C.A. y en S un ventilador aspirante que produzca una depresión $H_{as} = 60$ mm C.A. para el mismo caudal Q.

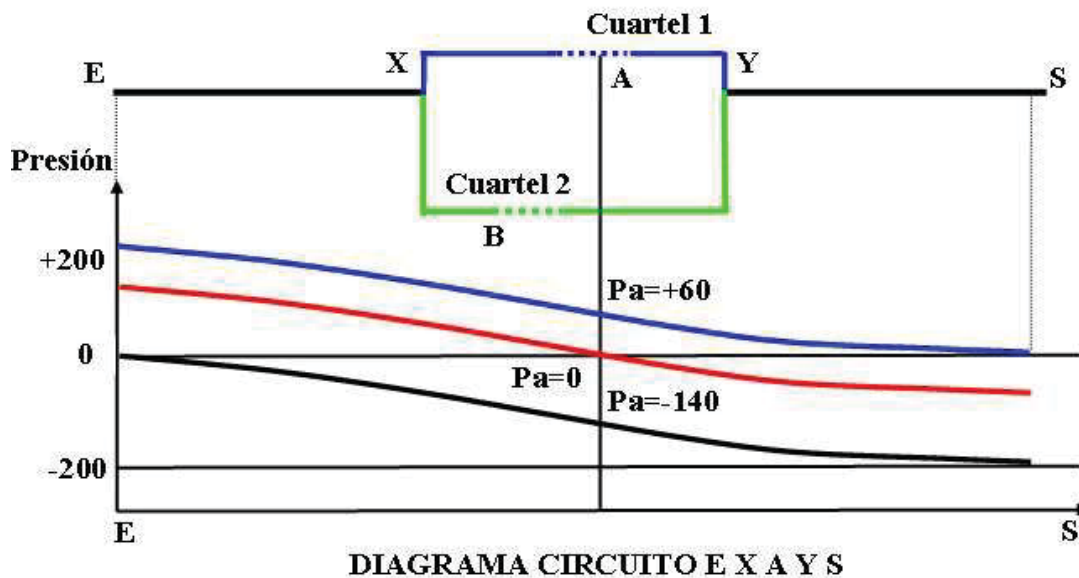


Figura VIII. Dos ventiladores principales

Si sólo se dispusiera un ventilador soplante en E, la curva de presión sería la de azul.

Si la explotación se desplaza, corre el riesgo de desplazarse también el punto en el que se quiere una presión determinada. Se puede también desear modificar esta presión. Es necesario entonces modificar las presiones de los ventiladores para un mismo caudal. Basta para esto utilizar ventiladores con paletas regulables o de alabes

directrices variables. En las modernas instalaciones, presionando un simple botón, se hace variar instantáneamente la presión en un punto dado.

Si se dispone de tales ventiladores es suficiente tener: una puerta con postigo cerca de cada ventilador, abriendo una y cerrando otra en la misma superficie no cambia la apertura de la mina pero se desplaza el punto O.

La vida diaria de la mina (puerta mal cerrada, tren obturado el circuito, etc.) perturba el reglaje. A título preventivo sin gran error: Las pequeñas perturbaciones son despreciadas; cuando son grandes son registradas en un depresiómetro diferencial que registra la presión en el punto O, con un poco de práctica se sabe donde está el defecto y se remedia.

A título de lucha inmediata, es precisa una regulación automática que es lo que se hace en algunos cuarteles con un regulador electrónico.

A veces se dispone de un regulador automático para regular con una puerta, pero si hay uno solo la autorregulación no es perfecta.

Este dispositivo permite escoger un solo punto de un circuito de la mina donde se puede hacer variar la presión. Para obtener el mismo resultado en un punto cualquiera hacen falta otros dispositivos.

2° - DISPOSITIVO DE DOBLE PUERTA (Figura IX)

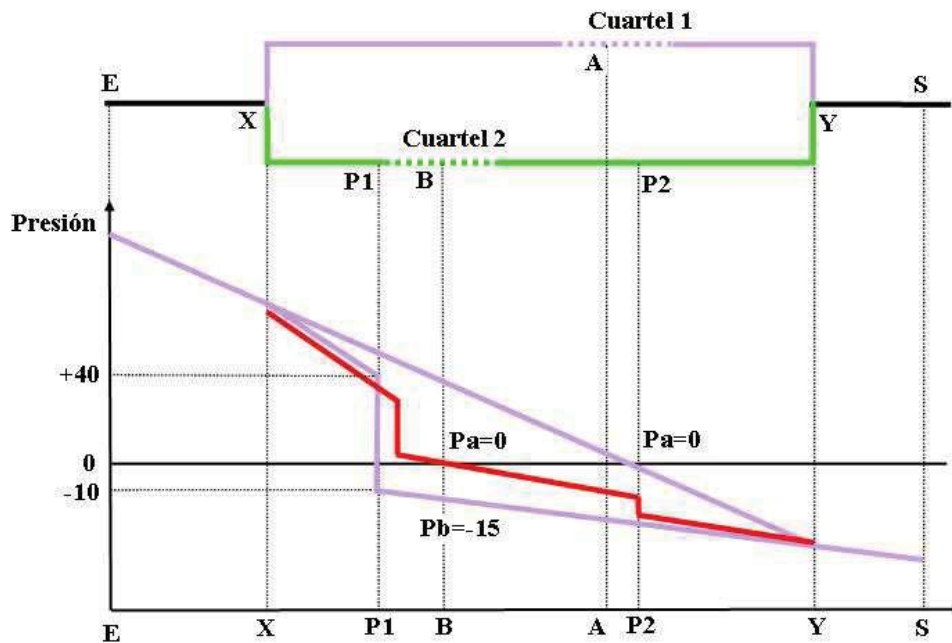


Figura IX. Doble puerta

Se representa nuestro circuito suponiendo que para regular los caudales q_1 y q_2 nos veamos obligados a introducir sobre el circuito XBY del cuartel 2 una resistencia bajo forma de una puerta P_1 dando por ejemplo para fijar ideas 40 mm de H_p medidos a través de la puerta.

Si se ha puesto esta puerta por encima de B los diagramas de presión en los dos circuitos son los que están en violeta sobre la gráfica.

Si se quiere igualar las presiones en A y en B basta con encuadrar B por dos puertas P_1 y P_2 . Habiendo medido la diferencia de presión Aab , de 15 mm por ejemplo, basta con

regular las puertas para que P_1 cree una pérdida de carga H_p de $40 - 15 = 25$ mm y P_2 de 15 mm.

La resistencia total introducida es la misma, el caudal permanece igual pero $p_a = p_b$. El nuevo diagrama en el circuito 2 está representado en rojo sobre la gráfica.

3° - DISPOSITIVO PUERTA-VENTILADOR AUXILIAR (Figura X)

Si se supone que sobre una misma derivación tenemos 2 cuarteles ventilados en serie y representado en violeta el diagrama de presiones. Se quiere igualar las presiones en A y B. Bastaría con subir la de B, o bien con bajar la de A.

Para subir la presión de B, se instala encima de B un ventilador (o un grupo): Dando un caudal ligeramente superior al caudal reinante en el circuito y una curva característica muy horizontal de forma que una variación de presión importante no de más que una débil variación de caudal.

Este ventilador sopla a través de una barrera prevista de una puerta con postigo. Delante de B se pone una puerta igualmente con postigo.

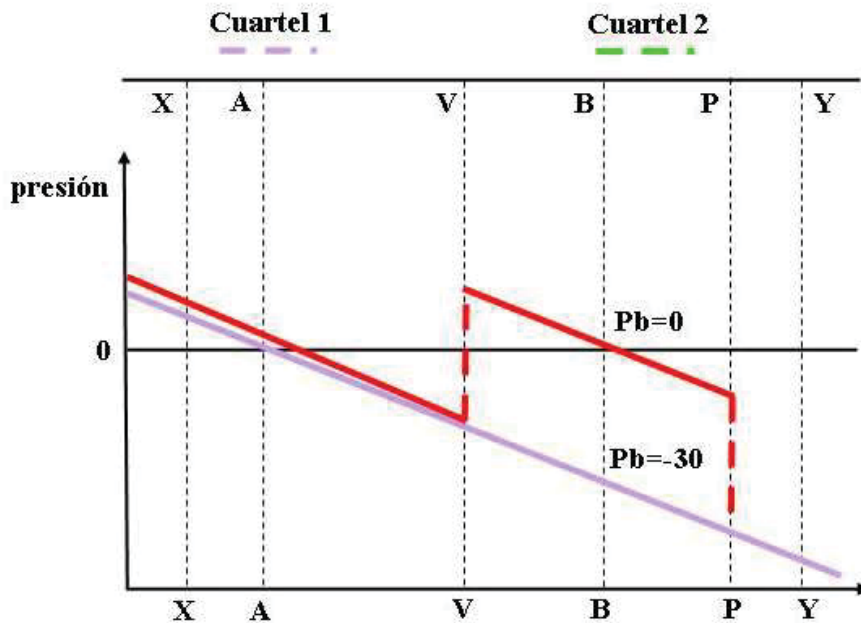


Figura X. Puerta ventilador

Regulando los dos postigos se puede aumentar la presión de forma considerable entre ventilador y puerta, sin modificar sensiblemente el caudal. Se iguala entonces sin dificultad la presión de B con la de A, sin modificar el régimen general de ventilación. El diagrama de presiones es entonces el señalado de rojo.

Si por alguna razón es preferible bajar la presión A para alcanzar el equilibrio, se invertirá el dispositivo; puerta encima y ventilador debajo.

Dónde se debe equilibrar

A continuación se exponen una serie de esquemas entre otros, que muestran donde se pueden localizar circuitos parásitos susceptibles de cebar un fuego (figuras XI a XVI).

a) Comunicación cuartel-antiguas labores

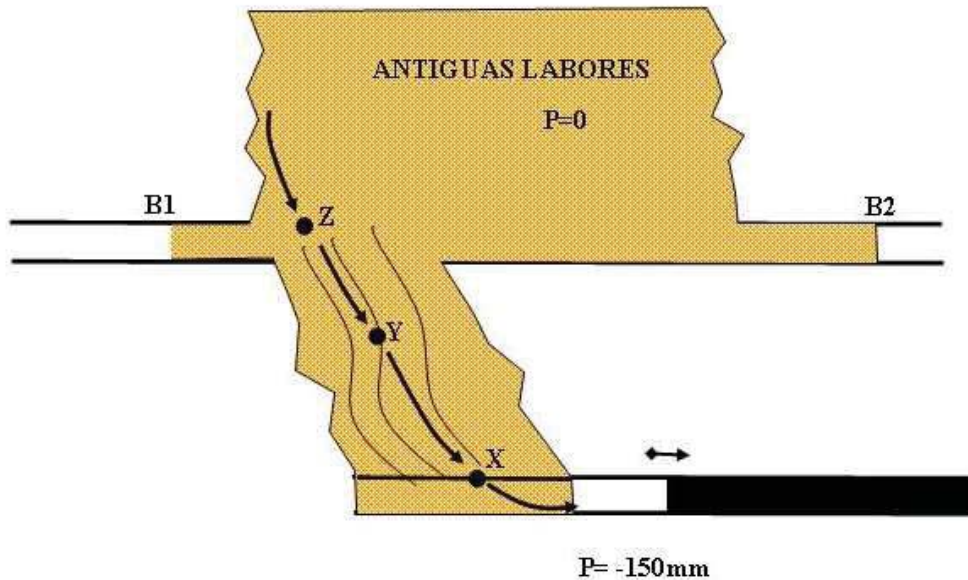


Figura XI. Comunicación cuartel-antiguas labores

Se supone antiguos trabajos cuidadosamente tabicados. En este recinto reina la presión barométrica, y no comunica nada más que con la superficie, por antiguos pozos, coladeros, galerías en pendiente y las fisuras microscópicas que son ilocalizables, los deterioros de superficie prueban bien esta fisura.

Si 50 ó 100 m más abajo se abre una explotación, un tajo en dirección por ejemplo donde reina la presión 150 mm llega un momento en que las fisuras que él crea, junta o comunican antiguas labores. El fuego puede también declararse tanto en X como en Y o en Z.

Remedio: Dispositivo nº 1 (2 ventiladores principales), si se puede o dispositivo nº 3 (ventilador-puerta).

b) Comunicación entre cuarteles por antiguos trabajos

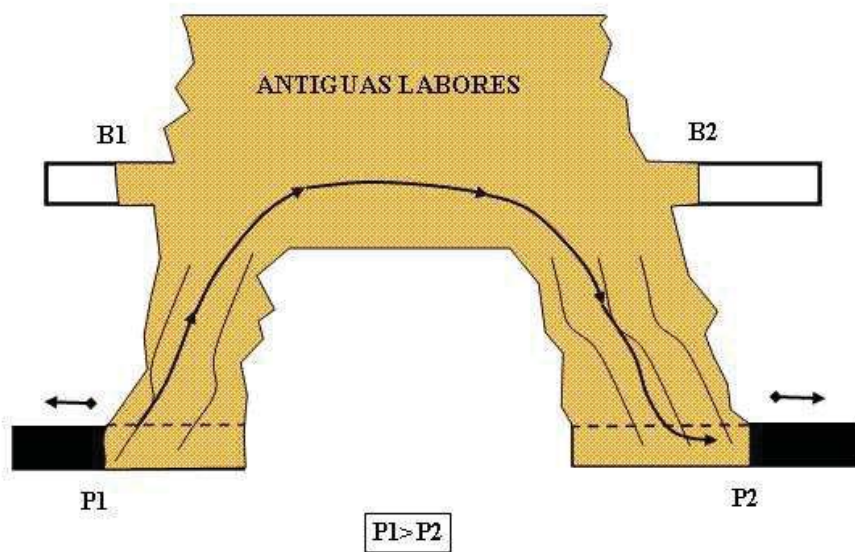


Figura XII. Comunicación entre cuarteles por antiguas labores

Una vieja galería en roca puede facilitar el paso de aire a gran distancia. Remedio: Dispositivos 2) y 3).

c) Comunicación entre tajos vecinos

Supongamos dos capas vecinas que se explotan por tajos en dirección a unos 100 ó 200 m de distancia. En el caso incluso que:

- La capa 2 es bastante potente, la resistencia del tajo es R_2 y el caudal Q_2 . La pérdida de carga debida al tajo es $H_2 = R_2 \cdot Q_2$.

- La capa 1 es estrecha, la resistencia del tajo es bastante más grande $R_1 = 2R_2$ por ejemplo. El caudal con motivo del grisú debe ser más fuerte $Q_1 = 1,5 Q_2$.

La pérdida de carga debido al tajo 1 es:

$$\begin{aligned}H_1 &= R_1 \times Q_1 = 2 \times R_2 \\X \times (1,5 \times Q_2) &= 4,5 \\R_2 \times Q_2 \times HI &= 4,5 \times H_2\end{aligned}$$

Si se toma $H_2 = 6$ mm, el valor es de $HI = 27$ mm. Pueden despreciarse las pérdidas de carga en las galerías, ya que son muy débiles.

Como las presiones en la extremidad de los dos circuitos son las mismas, para obtener los caudales Q_1 y Q_2 es preciso poner sobre el circuito 2 una puerta P dando una pérdida de carga de $27 - 6 = 21$ mm.

- Es importante elegir la ubicación de la puerta P :

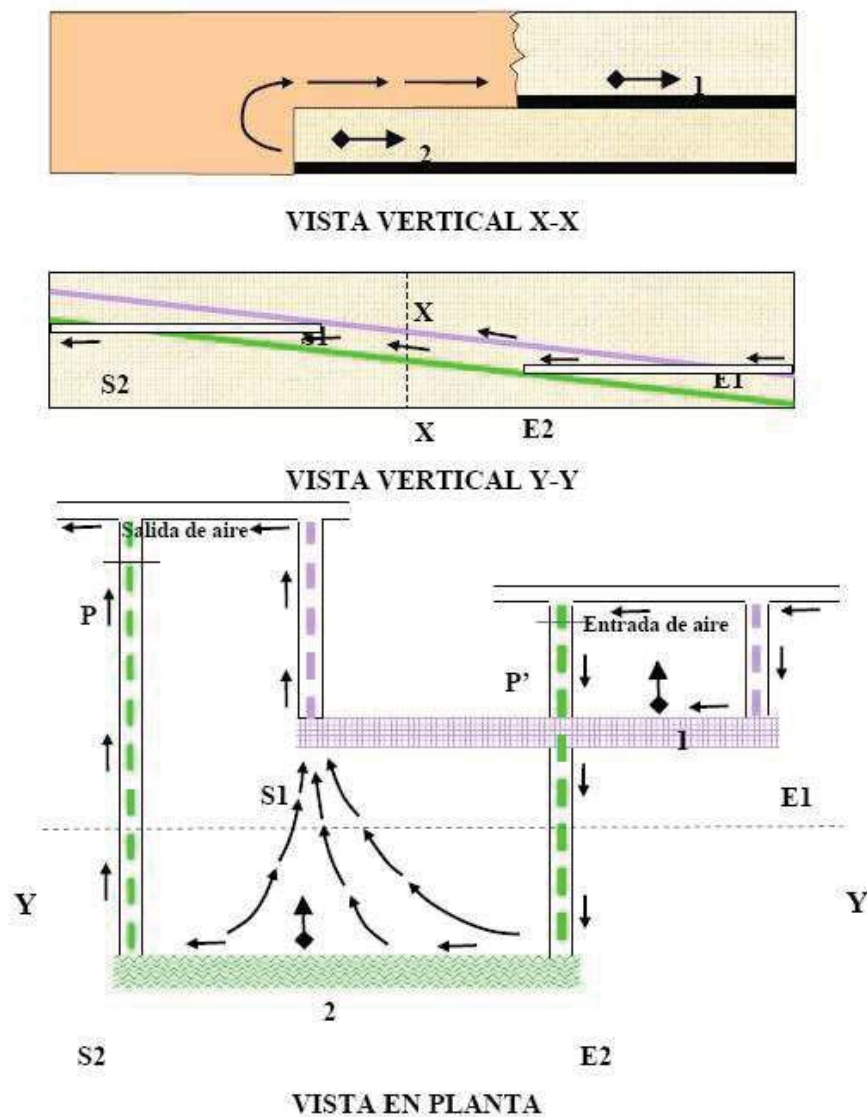


Figura XIII. Comunicación entre tajos vecinos

Suponiendo que esta puerta P la hayamos colocado después del tajo 2, vemos que:

- Las presiones en E_1 y E_2 son las mismas.
- La diferencia de presión entre E_2 y S_2 es de 27 mm, con lo que se originarán circuitos en el hundimiento entre estos dos puntos.

Si colocamos esta puerta en P' antes del tajo 2:

- La diferencia de presión entre E_1 y E_2 es de 21 mm. Lo cual no es precisamente lo mejor.

Repartiendo estos 21 mm entre P y P' : 7,5 mm en P , 13,5 mm en P' , obtenemos 13, de diferencia a la red entre $E_1 E_2$ y $E_2 S_1$. Este desequilibrio es admisible cuando los tajos marchan, porque los circuitos de fuga varían todos los días. El riesgo se agrava cuando se detienen. Pero entonces se puede disminuir el caudal en 1. En este caso, poner un solo freno sea detrás, sea delante, de este tajo sería un error; es preciso repartirlo de una parte y otra del tajo. Se puede así obtener un equilibrio en casi 3 ó 4 mm, lo que es muy bueno a título preventivo. Si se considera todavía insuficiente, se puede poner un único ventilador en medio del tajo 1, que disminuyendo la presión en E_1 y aumentándolo en S_1 permita obtener un equilibrio perfecto entre los tres puntos $E_1 E_2 S_1$.

d) Fuegos de paramento

Por hipótesis, el calentamiento es alimentado por circuitos de fuga que circulan en el paramento de una galería AB , que se supone horizontal para simplificar la exposición, despreciando la influencia de la pendiente. Sea q el caudal que circula en la galería; entre dos puntos cualquiera, las diferencias de carga son proporcionales a q^2 ; para reducirlos y para reducir casi los caudales de fuga que les son sensiblemente proporcionales, basta con reducir q ; en minas grisuosas es necesario siempre que el caudal sea suficiente para evitar la elevación peligrosa del contenido en grisú.

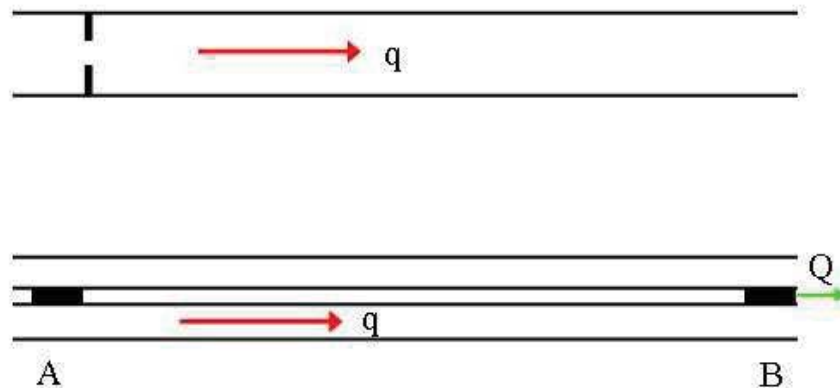


Figura XIV. Reducción de la pérdida de carga a lo largo de una galería

- Si el caudal en la galería puede disminuirse sin inconveniente teniendo en cuenta las necesidades de aire atrás o delante, es suficiente colocar un freno de ventilación reduciendo el caudal al valor deseado.
- Pero en general es un caudal superior $Q + q$ que debe circular entre A y B ; es necesario en este caso instalar en la galería una canalización de ventilación secundaria, equipada de un ventilador desarrollando una fuerza aeromotriz v , y por la cual pasa un caudal Q .

Entre A y B , suponiéndose despreciable la influencia de la pendiente, la variación de presión es:

- En la galería: $P_A - P_B = rq_2$.
- En la canalización de ventilación secundaria: $P_A - P_B = RQ_2 - v$.

Se ajustará la resistencia R por medio de un registro, teniendo en cuenta la curva característica del ventilador, de forma de obtener el resultado deseado.

e) Fuegos de macizo

En el caso de un fuego de macizo, las zonas a y b, extremidades de los circuitos de fuga se sitúan:

- En dos galerías de ventilación.
- En una galería de ventilación y un pozo de circulación de aire parásito.
- O en una galería de ventilación y la superficie, si los trabajos son de pequeña profundidad.

Entre las extremidades A y B de un circuito de fugas, la variación de presión es: $P_A - P_B = DI = DJ$

- DI representa el término $J\rho g dz$ que depende del desnivel y de la densidad del aire del circuito; no se puede hacer nada para modificarlo.
- DJ representa las pérdidas de carga; se pueden reducir e incluso anular modificando P_A o P_B en el sentido deseado.

En algunos casos es posible actuar sobre la diferencia $P_A - P_B$ desplazando ciertas puertas reguladoras de ventilación o modificando los caudales en las galerías de ventilación entre A y B ; más generalmente, se puede modificar la presión p entre dos puntos M y N de una galería, sin modificar el caudal, asociando la acción de una puerta con postigo y la de una barrera atravesada por una canalización equipada de ventilador; el aire circulando de M hacia N :

- Se aumenta la presión p colocando el ventilador en M y la puerta de postigo en N; es lo que conviene hacer si MN es una zona de retorno de corrientes de fuga.
- Se disminuye p por la disposición inversa; es lo que conviene hacer si MN es una zona de partida de corrientes de fuga.

Las dos medidas tienen la misma influencia sobre las fugas, se pone una u otra en funcionamiento siguiendo las condiciones locales:

- Si una de las vías a y b, extremidades de los circuitos de fuga es la única accesible, o la única conocida, su elección es obligada.
- Si dos galerías a y b son accesibles, se coge aquella en que la colocación de las barreras necesarias es menos costosa.
- El montaje a realizar, sobrepresión o depresión, viene entonces impuesto por el sentido de las corrientes de fuga.

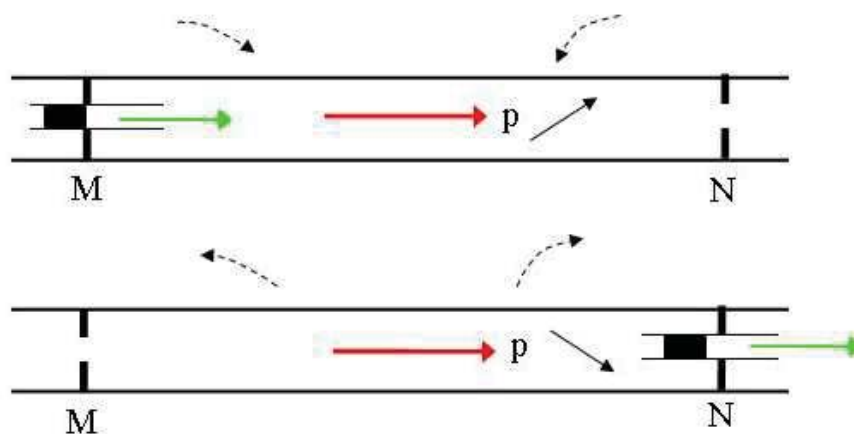


Figura XV. Acción bajo la presión en una galería

Pero la carga de aire no es constante a lo largo de las galerías *a* y *b*; si las diferencias de carga se anulan entre las zonas medias de estas galerías, ellas no existen cuando se separan: Las corrientes de fuga subsisten, pero reducidas en la misma proporción que las diferencias de carga e invertidas en ciertas zonas.

A título de ejemplo, La figura siguiente esquematiza la evolución de la carga entre dos galerías paralelas donde el aire circula en sentido inverso:

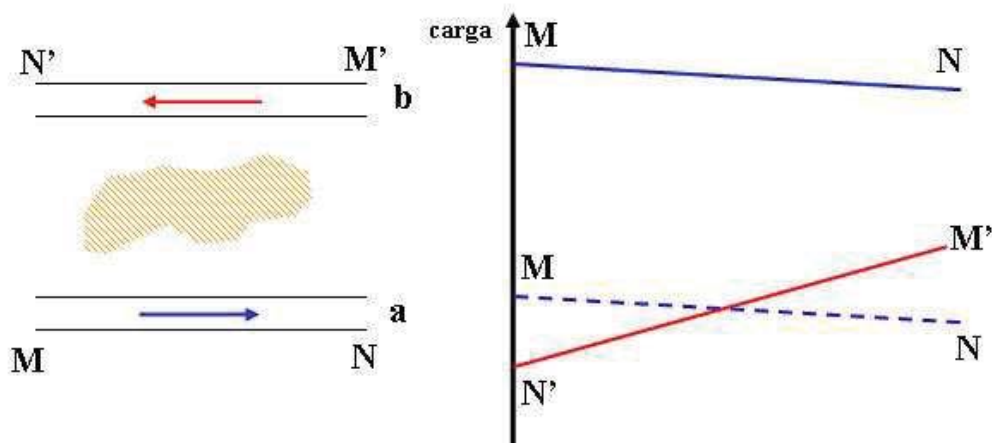


Figura XVI. Igualación de cargas entre dos galerías

- En trazo lleno (—) antes de toda medida de equilibrado de cargas.
- En trazado interrumpido (-----) después de la reducción de la carga en la galería *a*.

Por equilibrado de cargas, las corrientes de fuga no son pues totalmente suprimidas, pero la actividad del foco es reducida y su progresión detenida; pudiéndose así ganar un tiempo precioso, por ejemplo para acabar sin riesgos la explotación de un panel, o recuperar el material.

ANEXO F
TIPOS DE TABIQUES

ANEXO F. TIPOS DE TABIQUES

PLANIFICACIÓN DEL TABICADO

Previo a la explotación:

- Debe repasarse el tabicado de las labores del entorno que pueden originar fugas desde el frente activo
- El tabique principal estará dotado de tubos, para análisis, purgas y paso de hombre.
- Establecer valores de base de caudal, CO, sentido de fugas y otros. Preparar el plano de representación para efectuar seguimiento. Efectuar control y registro manual.

En la fase de explotación:

- Prever y preparar la posición de los tabiques de tajo, efectuando las rozas y el sellado del entorno previamente, dejando un marco amplio para el servicio, de forma que permita realizar tabiques fácilmente en su momento.
- La posición de los tabiques será:
 - En las zonas sanas no fisuradas.
 - Los accesos de tajo a más de 5m. de cruceros, etc.
 - Los accesos de nivel a unos 3 m. del crucero.
 - Los niveles en zonas de cortafuegos.

La reapertura de zonas tabicadas por causa de incendios sólo podrá hacerse por el personal asignado. En la atmósfera de las zonas tabicadas por fuegos e incendios, tanto descubiertos como ocultos, debe contarse con la aparición de mezclas inflamables. Posteriormente a la reapertura, esta presencia puede ser aún más peligrosa, debido al desarrollo de procesos de desgasificación y destilación seca con desprendimiento de gases combustibles. Este riesgo puede existir incluso para minas grisuosas.

La producción de gases depende de la situación del fuego en el momento en que se consigue realizar un cierre eficiente:

- Cuando el cierre se realiza en el momento en el que el fuego es poco activo, la combustión dura poco y la temperatura alcanzada es reducida. Se produce principalmente CO_2 y desciende el O_2 .
- Cuando se realiza con el fuego en pleno desarrollo, desciende el O_2 , y se forman CO_2 , CO , $\text{H}_n \text{C}_m \text{H}_n$ y gran cantidad de H_2O .

En las minas grisúosas, la cantidad de CH_4 depende del desarrollo de los procesos de desgasificación posteriores al tabicado, con lo que, incluso en el caso de fuegos poco activos, puede alcanzar elevadas proporciones.

TIPOS DE TABIQUES

1. Tabiques provisionales



Figura XVII. Tabique provisional

Ubicación

Labores en carbón próximas al frente de avance o sutirado, el cual se pretende aislar durante periodos cortos de tiempo, por ejemplo, el fin de semana, etc.

Construcción

Tablero de madera, previamente ignífuga, o placas prefabricadas de yeso, reforzando con fibra de vidrio.

El tablero anterior será recubierto posteriormente mediante proyección de resina (proyección)

2. Tabiques temporales

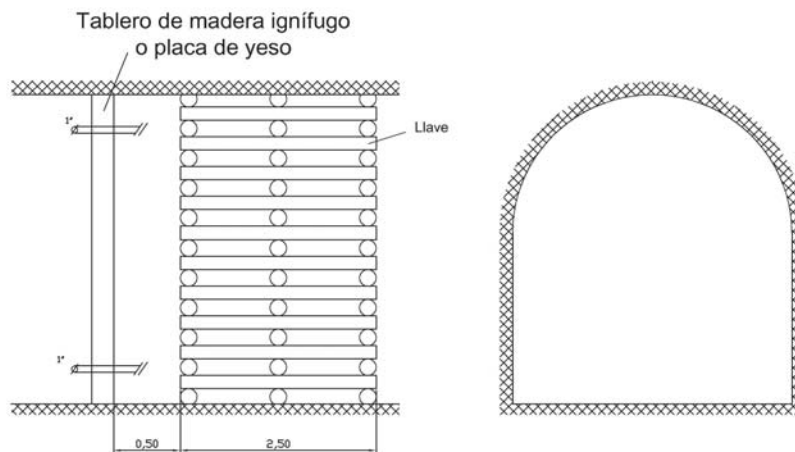


Figura XVIII. Tabique temporal

Ubicación

Labores en carbón, como los que han de construirse en el macizo de protección del pozo en roca, próximo al recorte o aquellos que se van a levantar dentro del nivel en casos de abandono temporal.

Construcción

Previamente a la construcción del tabique y a una distancia que no debe superar los 0,5 m., se construirá una llave de madera de 2,5 m. de fondo y que ocupe toda la sección de la galería. La madera de esta llave se recubrirá con resina tipo P de proyección.

El tabique propiamente dicho se construirá con tablero de madera ignifugada o placas prefabricadas de yeso, sobre el que se colocarán los mismos tubos de medida y con la misma disposición indicada en el tabique T1.

Se proyectará el tablero y el entorno de con resina. (ver figuras XIX-XIII).

Se deberá probar también el comportamiento de otra variante, el tabique de rollizos.



Figura XIX. Primera etapa de construcción de un pre-tabique: enmaderado



Figura XX. Segunda etapa de construcción de un pre-tabique: aplicación de resinas



Figura XXI. Últimos detalles en la construcción de un pre-tabique



Figura XXII. Resultado de un pre-tabique sellado con espuma

Se cuidará especialmente el cierre de los bordes de contacto tabique-galería.



Figura XXIII. Detalle de la adherencia de la espuma a los diferentes componentes de entibación (hierro y madera).

3. Tabiques definitivos

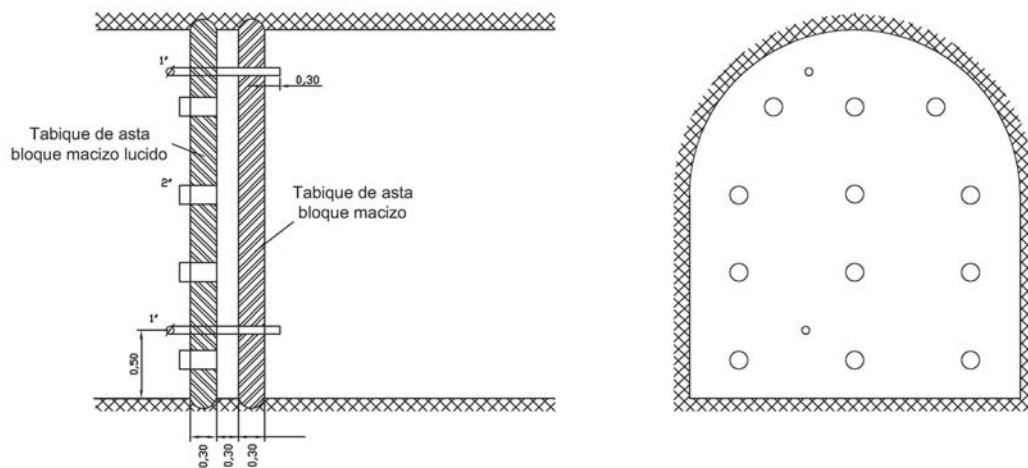


Figura XXIV. Tabique definitivo

Ubicación

Labores preferentemente en roca, como recortes, estériles, etc., y en algunos casos aislados en el Pozo en roca.

Se procurará realizar una roza hasta una suficientemente saneada y se construirá al menos, un pre-tabique de la misma.

Construcción

Tabique de fondo

Construido en pared de asta, de bloque de macizo, a partir del pre-tabique (si lo hay), en el que se dejarán embebidos dos tubos de 1cm de diámetro con sus correspondientes llaves de cierre.

Uno de los tubos anteriores irá colocado a 0,5 m. del piso de la galería y por el que se tomarán las muestras de los gases que son más pesados que el aire (CO_2 , $\text{C}_x \text{H}_y$). El otro tubo se colocará a la mayor altura posible y servirá para muestrear los gases más ligeros que el aire (CH_4 , CO , H_2).

Tabique visto

Construido con las mismas características que el anterior, se colocarán 12 tubos de 12" de diámetro para la inyección de resina tipo E.

Este tabique se lucirá para un eventual impermeabilizado con látex. (figuras XXV y XXVI).

Entre los dos tabiques anteriormente descritos habrá una separación entre 0,2-0,3 m.



Figura XXV. Tubos de 2" con la llave de compuerta para tomar muestras en el interior del tabique. En el tubo superior se toman muestras de CH_4 , CO , O_2) y cierre de guillotina de 800mm de diámetro.



Figura XXVI. Detalle de tubos de 2" con llave de compuerta para tomar muestras de gases y cierre de guillotina (chapa atornillada al tubo de 800 mm de diámetro que traspasa el tabique, existiendo entre el tubo y la chapa una junta de goma para evitar fugas

Tubos

Los dos tubos pasantes para la toma de muestras deberán sobrepasar el tabique de fondo al menos 0,3 m.

Los tubos para la inyección de resina quedarán a paño de la cara interior del tabicaje visto, sobresaliendo en el exterior aproximadamente 0,1 m. Estos tubos no dispondrán de ningún elemento de cierre (figura XXVII).



Figura XXVII. Tubos para inyección de espuma a la cámara intermedia para conseguir total estanqueada.

Será necesario prever un sifón pasante a los tabiques con tubo de 2 a 6", según el caudal esperado, a una altura máxima sobre el suelo de 0,1 m. aproximadamente.

Si no existiera agua inicialmente en la labor se dejará instalada una llave de paso a la salida del tubo.

Operación

Se procede al llenado por inyección a través de los tubos instalados en el tabique visto, empezando desde de la fila inferior y terminando por los tres colocados en la clave de la trabanca, controlando la salida del líquido por ellos para proceder a taparlos y pasar, luego, a inyectar la fila superior.

Es muy importante ir alternando los tubos de llenado en una misma fila para evitar que el calentamiento del fluido acelere la reacción y reproduzcan zonas huecas. Se recomienda no pasar de tres minutos el tiempo de inyección interrumpido por cada tubo.

En el caso de presentarse la necesidad de cerrar la zona en la que están presentes fuego y grisú, y en previsión de un explosión de este, debe hacerse tabiques antigrisú en sus accesos, para lo que se levantarán tabiques del tipo definitivo, separados 5 m. y rellenos de piedra gruesa y lechada fluida de yeso y/o cemento (figura XXVIII).

Tratamiento de macizos de conservación asociados a tajo

Se plantean varias situaciones a resolver que pueden presentarse aisladamente o de forma conjunta:

- a) Aislamiento de los macizos susceptibles a corrientes erráticas de ventilación.
- b) Pasivación de macizos, planificados o no, cuya susceptibilidad a la combustión debe reducirse.



Figura XXVIII. Tabique doble definitivo con cámara intermedia y revestimiento de hormigón exteriormente en toda la sección de galería con guillotina para paso de personal.

Construcción de tabiques de presión nula

Un método eficaz y práctico para extinguir fuegos ocultos es la construcción de tabiques de presión nula.

El método fue introducido en las minas de Andorra (Teruel) por los técnicos soviéticos y lo cita A. Novitzky en su libro de Ventilación de Minas. Se utilizó también con éxito en las minas de Asturias.

En la figura XXIX se representa su esquema y construcción.

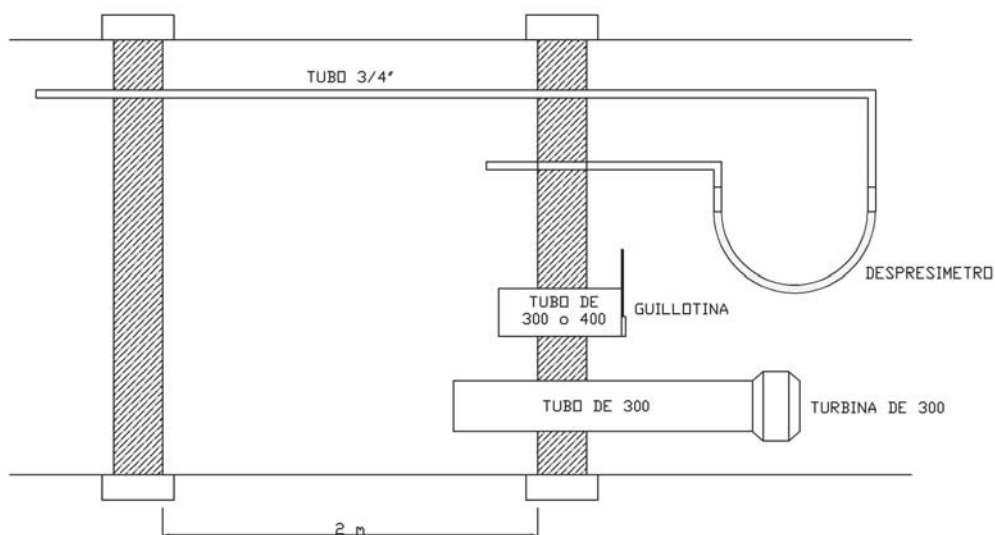


Figura XXIX. Tabique de presión nula

Tiene como fin crear una depresión en la corriente de entrada, cerca de los tabiques de cierre y una sobrepresión en la corriente de salida, con lo cual se corta la entrada y la salida del aire del campo del incendio.

Para ello es preciso construir dos tabiques, a ser posible de bloque, separados entre 2 y 5 m, entre los que se crea una cámara de presión. En el del lado de aire fresco se instalan dos tubos, uno para acoplar un ventilador y el otro con una guillotina para regular el paso de aire y la presión en la cámara.

Un manómetro controla la depresión entre el lado del incendio y la cámara de presión de manera que se igualen y el manómetro marque cero. La presión del lado del fuego, debe ser 1 ó 2 mm mayor que en el lado de la entrada de aire.

Materiales necesarios

1. Dos tabiques de obra de fábrica, separados entre sí de 3 a 5 m.
2. En el tabique del lado de aire fresco, se instalarán un tubo metálico de 600 mm. y otro de 300 mm. de diámetro de aproximadamente un metro de longitud.
3. Una turbina de 300 mm. de diámetro
4. Una guillotina regulable y adaptable al tubo de 600mm.
5. Dos tubos de 3/4", uno de los cuales pasará los dos tabiques hasta el lado del incendio e irá provisto de una llave y el segundo comunicará con la cámara de presión.
6. Un metro cúbico de PVC, transparente, de 8 mm. de diámetro, con acoplamiento a los tubos de 3/4" .(Depresímetro)

Puesta en marcha del tabique a presión

Una vez levantados los tabiques, se actuará como sigue:

1. Colocar la turbina y guillotina reguladora en los tubos correspondientes.
2. Conectar los tubos, mediante el tubo transparente, al que previamente se le ha puesto agua coloreada hasta la mitad de su longitud. Dejar la llave abierta.

3. Arrancar la turbina.
4. Regular la guillotina hasta nivelar las dos columnas as de agua.

Regulación y control

Actuando sobre la guillotina de control y vigilando las presiones relativas en el depresímetro de la columna de agua, deberá conseguirse el equilibrio (misma altura en las dos columnas), o en todo caso una ligera sobrepresión de 1 a 2 mm. c.a. en el lado del fuego respecto a la cámara, evitándose así el aporte de aire al incendio.

Hay que colocar frecuentemente la lectura del manómetro, y actuar sobre la guillotina si se desequilibra la columna, especialmente cuando hay variaciones de presión atmosférica, que afectarán el ajuste.

Eventualmente, la regulación puede combinarse con la llave de alimentación del aire comprimido de accionamiento de la turbina neumática.

En los casos de alta susceptibilidad al incendio, se recomienda que en el lugar adecuado se tengan preparadas las rozas para el emplazamiento rápido de los tabiques.

ANEXO G

**MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSOLIDACIÓN Y
REVESTIMIENTO**

ANEXO G. MATERIALES Y TÉCNICAS DE CONSOLIDACIÓN Y REVESTIMIENTO

Existen una serie de materiales especiales para aplicaciones diversas, desde el relleno de huecos hasta la lucha contra incendios. Estos son:

- La gunita
- Llaves de cemento acuoso
- Resinas
- Antipirógenos

Gunitado

La gunita es una especie de hormigón en el que el tamaño del árido se encuentra por debajo de los 8 mm. La composición es normalmente 1:7 de cemento/áridos (arena y arenón) y además se le añade un pegamento (isocreta u otro semejante). En proporciones variables según donde se vaya a lanzar, oscilando entre el 3 y el 5 % del cemento.

Su colocación requiere generalmente una instalación sencilla y barata. Una gunitadora de vía seca que lleva por lo general un cilindro regulable. En las celdas se va metiendo la gunita que está en un tolván encima del cilindro y este, al girar, intercala las celdas en una conducción de aire comprimido que lo transporta hasta la salida donde se le incorpora el agua. También hay gunitadores por vía húmeda, pero en labores subterráneas no suelen utilizarse.

El lanzamiento requiere una cierta experiencia para controlar el rebote que se produce al chocar el árido contra las paredes. Un buen operario consigue rebotes inferiores al 20 % sin aumentar, por supuesto, el porcentaje de pegamento.

El espesor máximo no debe superar los 8 cm. Y si se quiere más debe aplicarse en capas de un espesor no superior a este. De cualquier manera, con árido de 8 mm,

espesores de más de 15 cm no son recomendables, ya que la resistencia disminuye considerablemente si no aumenta el tamaño del árido, en cuyo caso pasaría al hormigón proyectado.

En combinación con el bulonaje, la gutina se aplica encima de una tela metálica de malla ancha (100 mm), previamente sujeta con los bulones. Mallas más cerradas provocan puntos débiles en la gunita que no se adhiere correctamente a la roca. Esta tela metálica le confiere mayor resistencia a la tracción y a la flexión.

También puede utilizarse la gunita en combinación con una especie de “grapas” de acero, del mismo tipo que las de coser papel, denominadas “Dramix” y que la proporcionan resistencia a la tracción que tiene que aportar normalmente la tela metálica, dándole al sistema una simplificación enorme, al evitarse el tendido y grapado de la tela. La dosis habitual es de 50 kg/m³, que se añaden directamente a la tolva de carga con un dosificador colocado en la cinta de alimentación. Este sostenimiento combinado es muy útil en terrenos expansivos, como margas, donde el agua y la intemperie afectan a la roca tanto o más que las presiones del terreno.

Cementos acuosos

El arranque mecanizado en capas verticales implica generalmente una protección de las galerías de acceso, tanto de cabeza como de pie, en particular cuando las explotaciones se llevan en avance y con hundimiento o relleno parcial.

El sistema generalmente utilizado es la llave de madera, que se coloca cada dos o tres calles y cuya efectividad se ha comprobado que es nula en casos de rotura de muro o muy deficiente en caso de rotura de techo. Entre los sistemas alternativos se encuentran los cementos acuosos.

En el caso típico de talleres subhorizontales, los problemas de autocombustión en el hundimiento son conocidos, y el uso de estos productos de manera sistemática podría subsanar estos problemas además de contribuir a la mejora del sistema de ventilación. En este campo existe mucha experiencia en la minería inglesa.

El cemento acuoso es un producto de dos componentes, A y B, cuya mezcla en un saco especialmente diseñado genera una especie de gel de cemento capaz de englobar hasta un 90 % de agua, en volumen. De esta forma la relación líquido sólido aumenta hasta el 2,5:1, en peso, de forma que se reduce 5 veces el peso a transportar en interior y que produce menos polvo que otros productos como la anhidrita.

El componente A es un cemento aluminoso típico y el componente B es anhidrita. Uno o los dos componentes, deben llevar una serie de aditivos para permitir el transporte por tubería sin sedimentación durante al menos 24 horas. La mezcla convenientemente lanzada a un saco de PVC, comienza fraguando a los 15 minutos extendiéndose al cabo de otros 15 minutos al 25 % del volumen proyectado, lo cual confiere a la parte inferior del saco receptor suficiente resistencia para seguir rellenándose sin problemas, llegándose al final a fraguar al final 2/3 partes del total (aproximadamente 20 min/m³).

Los componentes individuales pueden llegar a fraguar en la tubería de transporte, pero el tiempo de gelificación es superior a las 24 horas, por lo que la limpieza detallada de las tuberías se puede realizar los fines de semana o periodos de descanso largos, bastando con acabar la operación lanzando un tanque de agua limpia sin productos.

El producto fraguado presenta unas características resistentes con el tiempo y, aunque no son altas, entre los 2 y 3 MPa, el comportamiento frente a la carga generada por la convergencia de hastiales es excelente, debido a la facilidad de adaptación del saco a las irregularidades de techo y muro. Al tener una superficie de contacto perfecta, la repartición de la carga es practicante total, lo que permite la readaptación continuada

de la llave monolítica al movimiento y la presión del terreno, ejerciendo sobre el mismo una contrapresión casi constante.

Otra de las ventajas de las llaves monolíticas es el cierre del posttaller a la ventilación, debido al contacto estrecho existente entre la propia llave y los hastiales, formándose una barrera al paso de aire casi perfecta.

Las resinas

Las resinas efectúan su trabajo rellenando huecos y fisuras, sirviendo en algunos casos como consolidante del terreno. Tienen que ser, por tanto, inyectadas o introducidas por medio de taladros.

Existen varios tipos de resinas, cada una para diferentes tipos de terrenos y situaciones, pero se podrían agrupar de la siguiente forma:

1. Isocianato-polialcohol (poliuretano)
2. Fenolicas
3. Siliconas

Las primeras son combustibles y desprenden gases muy tóxicos. No son recomendables para capas con susceptibilidad de incendios.

Las segundas son incombustibles. Sus componentes son resinas fenólicas y un catalizador ácido que debe ir en proporción 2:1 si es para inyección o de 4:1 si se va a proyectar, para acelerar el proceso de endurecimiento y que no se caiga la resina. La bomba es algo compleja y cara, pero tiene la ventaja de limpiarse con agua. Es una resina espumante que aumenta su volumen desde 2 a 10 veces, en función de varios parámetros.

Finalmente, las siliconas son muy cómodas de inyectar, pero no expansionan, por lo que siempre requieren máquina. Van disueltas en su propio catalizador en forma de suspensión acuosa y tiene la ventaja de su baja viscosidad para llegar a cualquier fisura. Puede utilizarse, en principio, cualquier máquina de inyección de agua en capa e incluso el mismo cierre o sondeo, lo cual da unas enormes ventajas de empleo. A diferencia de las dos anteriores, no tiene resistencia a la compresión, pero es un pegamento excelente.

Descripción del equipo para resinas fenólicas

El equipo está constituido por tres bombas de pistón de alta presión, accionadas por un solo motor neumático a través de un vástago que actúa simultáneamente sobre los tres émbolos. Los cilindros de las tres bombas son del mismo diámetro y su recorrido de la misma longitud. Las dos bombas de los extremos mueven la solución de resina, en tanto que la central lo hace con el catalizador. Las dos aspiraciones de las bombas de resina están unidas entre sí, formando una sola aspiración ocurriendo lo mismo con los impulsos. Así pues, del conjunto del aparato sale una aspiración que se reparte a las dos bombas de resina y otra aspiración que va a la bomba del catalizador.

Los tubos de aspiración se introducen en los envases respectivos de resina y catalizador. Los tubos de impulsión están unidos al mezclador a través de mangueras de alta presión con válvulas de interrupción.

Al conectar al aire el motor de accionamiento del grupo, se ponen en movimiento simultáneo las tres bombas. Basta cerrar los grifos de entrada al mezclador para que el conjunto se paralice.

El equipo dispone además de una bomba de funcionamiento independiente para el líquido de limpieza, la cual posee su propia aspiración que se introduce en la garrafa de este producto. Su impulsión está unida por una manguera de alta presión, equipada con otra válvula de interrupción, con el dispositivo del mezclador. Este líquido se utiliza

cuando es preciso detener la operación por un periodo de tiempo superior al tiempo de gelificación de la resina, para evitar obstrucciones que puedan llevar a la máquina a la inoperatividad total.

También, durante la puesta en marcha del equipo, conviene hacer un purgado con líquido de limpieza, en particular de los conductos de resina. Los cilindros llevan un sistema de cierre de bola sobre un asiento que con el uso de la máquina se queda impregnado de producto. Conviene revisar su limpieza antes de cada puesta en marcha, sobre todo si se ha pasado tiempo sin utilizarse.

El punto más conflictivo se genera durante las paradas para cambio de garrafa o de lugar de proyección. Es imprescindible utilizar el líquido de limpieza en estas operaciones ya que lo contrario el pulverizador se obstruye sistemáticamente.

Antipirógenos

Estos materiales pueden ser de dos tipos:

- Preventivos
- De lucha

Preventivos

Existen productos comerciales pensados para la madera y la tela. Impregnando estos materiales con el producto disuelto en agua, se consigue una pasivación realmente espectacular.

En el caso de la madera, sobre una estufa previamente cronometrada, se tardó más de tres horas en la combustión abierta de una serie de mampostas impregnadas, mientras que otras iguales, se reducían a cenizas en menos de 12 minutos.

El carbón previamente impregnado, sufría igualmente un retraso en la combustión del mismo orden que en el caso de la madera, a pesar de ser bloques de unos 200 mm que se fragmentaban al ser sometidos al calentamiento.

Para evitar autocombustiones, en caso de dejar macizos sin explotar, si es posible, debe aplicarse antipirógenos para conseguir un aislamiento conveniente (figuras XXX y XXXI).



Figura XXX. Operario preparando el producto antipirógeno



Figura XXXI. Aplicación de antipirógeno en carbón

De lucha

Son los ya mencionados espumantes de alta expansión que consiguen poner grandes cantidades de agua en forma de espuma fina de una duración relativamente grande. En zonas abiertas, como galerías o talleres, pueden utilizarse como refrigerantes inyectando el hastial, pero si hay hueco, la espuma no se mantiene mucho tiempo y pierde su efectividad

Con máquinas adecuadas, se puede conseguir 1 m³ de agua y espumante al 3%-5% en 10 minutos. Esto significa la erección de una barrera contra el fuego que además refrigera. La única cuestión a tener en cuenta es que debe hacerse espuma en entrada de aire hacia el foco del incendio, puesto que en caso contrario, dado el poco peso de la barrera, la corriente de aire desplazaría el tapón hacia el generador de espuma.

Esta espuma no puede inyectarse a cierta profundidad a través de sondeos estrechos porque, además de los problemas de presión para moverla, (es casi aire), poco a poco se iría degenerando hasta volverse jabonosa.

En focos muy calientes, la espuma se deshace en un tiempo determinado, más o menos corto, perdiendo su efectividad. Cuando la disolución alcanza un punto caliente, por encima de 313 K se empieza a generar una espuma parecida a la de afeitar, en espesores parecidos, 6-8 mm, que por su viscosidad, queda adherida al material caliente ejerciendo tres efectos; asfixiante, refrigerante y pasivante al mismo tiempo. Cuanto mayor es la temperatura, más espesa es la espuma y más rápida reacciona para formarse, quedando activa de forma permanente.



SECRETARÍA GENERAL
DE ENERGÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA
Y MINAS

ANEXO H

MUESTRAS DE ZONAS SELLADAS. LA PRODUCCIÓN DEL TIEMPO RELACIONADO CON LA TENDENCIA A LA EXPLOSIVIDAD



ANEXO H. MUESTRAS DE ZONAS SELLADAS. LA PRODUCCIÓN DEL TIEMPO RELACIONADO CON LA TENDENCIA A LA EXPLOSIVIDAD

Las características de la atmósfera en las zonas selladas se muestran en el diagrama de Coward o en el diagrama de Explosividad de Bureau of Mines de Estados Unidos (diagrama USBM). Dentro del mundo de la industria extractiva, el diagrama de Coward es, sin duda, el más utilizado comúnmente en EE.UU. y Sudáfrica.

Independientemente del diagrama utilizado, el procedimiento es el mismo para todos. La posición de la muestra se representa en el diagrama, y dicha posición se relaciona con el triángulo de explosión. Para entrar en el término de explosividad es necesario definir el término de *temperatura de inflamación*, también conocida como punto de destello; es la temperatura mínima en condiciones normales de presión, a la cual se desprende la suficiente cantidad de vapores para que se produzca la inflamación mediante la aportación de un foco de ignición externo. Pueden representarse series de muestras para ver si la atmósfera es explosiva, si se acerca a la explosividad o si se aleja de la misma. Hay dos factores complejos.

Primero, la posición de una muestra es específica de los constituyentes de ésta, pero la coordinación del triángulo de explosividad es también específico de los constituyentes de la muestra. Si se representa una serie de muestras, no sólo cambia la posición de una muestra con respecto a la siguiente, sino que cambian también la forma y la posición del triángulo de explosividad de una muestra a la siguiente. La tendencia de las muestras, por lo tanto, deberá estar relacionada con un “blanco móvil”.

Segundo, ya que no existe escala de tiempo en el diagrama, la relación de cambios de una serie de muestras que se acerca o aleja de la explosividad puede ser sólo juzgada por la información separada del tiempo.

El procedimiento explicado anteriormente describe como realizar los diagramas de tiempo relacionados. En el caso de los diagramas de Coward, se propone un método

gráfico y de cálculo que establezca las coordenadas del triángulo de explosividad, mientras en el caso del diagrama USBM, estas coordenadas son parte del diagrama. El método de cálculo para establecer las coordenadas de un triángulo de explosividad de Coward puede computerizarse rápidamente.

Diagrama de Coward

- Cálculo de las coordenadas del triángulo de explosividad:

La figura XXXII muestra un diagrama de Coward. El triángulo de explosividad se muestra como PQR. La línea PR es el límite inferior de inflamabilidad, y la línea QR es el límite superior de inflamabilidad, y cada uno de estos puntos puede definirse en términos del contenido de oxígeno y de gas combustible.

Sin embargo, ya que P y Q están siempre en la línea AB, la cual representa la mezcla de aire limpio y gas combustible, pueden fijarse en términos del contenido de gas combustible. El gas combustible en una muestra de mina consistiría en metano (CH₄), Hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO). La tabla I muestra los límites superiores e inferiores de inflamabilidad y el límite del punto de confluencia de las líneas trazadas desde estos puntos.

Tabla I: Límites de inflamabilidad y límites del punto de confluencia

GAS INFLAMABLE	Límites de inflamabilidad del gas combustible (%)		Límites del punto de confluencia	
	Límite inferior	Límite superior	Combustible %	Oxígeno %
CO	12,5	74	13,78	6,08
H ₂	4,1	74	4,3	5,12
CH ₄	5,0	14	5,93	12,24

La figuras para las mezclas de gases pueden calcularse de la siguiente forma:

$$\text{Límite superior para mezclas (LS)} = \frac{100}{\frac{100CO}{(CO + H_2 + CH_4)74} + \frac{100H_2}{(CO + H_2 + CH_4)74} + \frac{100CH_4}{(CO + H_2 + CH_4)14}}$$

= % combustible

$$\text{Límite inferior para mezclas(LI)} = \frac{100}{\frac{100CO}{(CO + H_2 + CH_4)12,5} + \frac{100H_2}{(CO + H_2 + CH_4)4,1} + \frac{100CH_4}{(CO + H_2 + CH_4)5}}$$

= % combustible

$$\text{Límite del punto de confluencia} = \frac{100}{\frac{100CO}{(CO + H_2 + CH_4)13,78} + \frac{100H_2}{(CO + H_2 + CH_4)4,3} + \frac{100CH_4}{(CO + H_2 + CH_4)5,93}}$$

= % combustible

La tabla II muestra los volúmenes de nitrógeno requerido para llegar a extinguir un gas inflamable concreto.

Tabla II: Volúmenes de nitrógeno necesario para llegar a extinguir diferentes
llamas

GAS INFLAMABLE	VOLUMEN DE GAS EXTINTOR
CO	4,15
H ₂	16,55
CH ₄	6

$$\% \text{ Exceso de Nitrógeno en el punto de confluencia} = \% \text{ combustible} \frac{\frac{4,5 \times 100 \text{CO}}{\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4} + \frac{16,55 \times 100 \text{H}_h}{\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4} + \frac{6 \times 100 \text{CH}_4}{\text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4}}{100}$$

El % de exceso de N₂ en el límite del punto de confluencia puede escribirse como % O₂ en dicho punto. (Ver figuras de XXXIII a la XXXV)

NOTAS:

- Si está presente cualquier otro gas, por ejemplo, el etano, puede considerarse de la misma manera que el CO, H₂ y el CH₄.
- El método de arriba considera que el CO₂ es equivalente al N₂ y los dos gases se incluyen juntos como una única figura. Este es un error leve en la zona segura.

Aunque el cálculo anterior parezca tedioso, consiste sólo en la suma, resta, multiplicación y división, y es fácilmente manejable por un ordenador o un programa de cálculo. Véase el ejemplo siguiente:

- El tiempo relacionado con las tendencias a la explosividad:

El tiempo relacionado con las tendencias a la explosividad, puede producirse mediante la transferencia de información procedente de las series de los triángulos de Coward, sobre un único diagrama con la escala de tiempo. El proceso está basado en lo siguiente:

Cuando la posición de una muestra y el triángulo de explosividad, relacionado con los constituyentes de la misma, han sido fijados en el diagrama de Coward, añadir o restar el gas combustible, de la misma composición que el gas combustible de la muestra, provocará que la posición de la muestra se mueva a lo largo de una línea, uniendo la posición inicial de la muestra hacia el 100% del gas combustible, punto B. Esta línea puede extenderse a través de del diagrama para interceptar el triángulo de

explosividad en dos puntos, o para interceptar la línea que separa el segmento “no explosivo” del segmento “explosivo con mezcla de aire”, en un punto. El porcentaje de gas combustible en estos puntos y la posición de la muestra puede extraerse del diagrama y transferirse a uno nuevo con el contenido de gas combustible en el eje “Y”. De la misma manera, si el contenido del aire de la muestra cambia, manteniendo los demás parámetros constantes, la posición de la muestra se moverá a lo largo de la línea uniendo la muestra original con punto A de aire limpio. Esta línea puede extenderse a través del diagrama para interceptar el triángulo de explosividad en dos puntos. Estos puntos pueden también transferirse al nuevo diagrama.

Puede representarse una serie de muestras en los diagramas de Coward, y puede ser transferida la información a un nuevo diagrama. Esta serie de muestras aparecería en el nuevo diagrama con el tiempo en el eje X. El diagrama representaría, por tanto, la tendencia en las muestras y sus características de explosividad. Las figuras de la XXXVI a la XLII, ilustran el proceso entero. Por motivos de simplicidad, se asume que las coordenadas del triángulo de explosividad no cambian a lo largo de las series. Si las coordenadas cambiaran, el método funcionaría igualmente.

Diagrama de USBM

Cuando se utiliza el diagrama de USBM, los triángulos de explosividad para mezclas de varios gases son parte de dicho diagrama, de manera que no hay necesidad de calcular las coordenadas del triángulo. Esta es una gran ventaja, sin embargo, el diagrama es complicado de ver y, aún más, complicado para trabajar en él. La desventaja más importante es, sin embargo, que el diagrama de USBM está basado sólo en los límites inferiores de inflamabilidad. La línea que representa los límites superiores de inflamabilidad es ficticia, aunque contiene la gran mayoría de las circunstancias prácticas. Cuando Zabetiakís y sus coautores introdujeron el diagrama de USBM en 1959 estimaron que este diagrama no debería ser usado si la muestra de H₂ de la muestra excede un 5% y el CO de la muestra excede un 3%. En dichas circunstancias, el

diagrama de Coward representaría el límite superior de inflamabilidad correcto, mientras que el diagrama de USBM no lo haría.

Sin embargo, el diagrama de USBM puede usarse para generar el tiempo relacionado con la tendencia a la explosividad de la misma manera que el diagrama de Coward. Las figuras de la XLIII a la XLVIII ilustran este proceso.

Un triángulo de explosividad ha sido utilizado a lo largo del tiempo con un valor de R de aproximadamente 0,3, pero el proceso trabajaría igualmente bien si el valor de R variara de un diagrama a otro.

Si el contenido de aire en la atmósfera fuera modificado, el punto que representa la muestra se movería a lo largo de la línea uniendo su punto inicial al punto de aire limpio (es decir, al origen del gráfico). Extendiendo esta línea a través del triángulo de explosividad, se unirán dos puntos del mismo.

Si el contenido efectivo del combustible de la atmósfera cambia, el punto que representa la muestra se moverá de su posición inicial al vértice del diagrama (fuera de la escala) representando el 100% de combustibles efectivos. Extendiendo esta línea a través del triángulo de explosividad se unirán dos puntos más en el mismo. Todos estos puntos, incluyendo el punto de la muestra, puede expresarse en términos de sus *contenidos de gas combustible* y pueden transferirse a una escala vertical a mano derecha del diagrama. Las figuras de la XLIII a la XLVIII muestran la secuencia de las cinco muestras y la “curva de explosividad” generada por el procedimiento descrito. Se observará en el caso de la muestra XLV, la línea que une ésta al punto del 100% de los combustibles efectivos no intercepta el triángulo de explosividad, pero sí intercepta el límite de la línea entre las mezclas “no explosivas” y “explosivas cuando se mezclan con aire”. La posición de la muestra e es tal que ni la línea que une ésta con punto del 100% de los combustibles efectivos ni la línea que la une con el punto de aire limpio, intercepta el triángulo de explosividad.

La figura XLIX muestra una secuencia de muestras tomada de un fuego real, representadas sobre un diagrama de tendencia relacionada con el tiempo compuesto. Se realiza una comparación entre el diagrama generado a partir de los triángulos de Coward y los diagramas de USBM. Se observará que mientras las posiciones de las muestras y sus características de explosividad son casi idénticas, los límites superiores de inflamabilidad generados por los diagramas de Coward son más altos que aquellos generados por los diagramas de USBM. Donde los límites superiores de inflamabilidad son importantes, es importante que se utilicen los triángulos de Coward.

El proceso explicado en este anexo para la generación de “curvas de explosividad”, representando líneas de cambio del contenido del aire o líneas del cambio del contenido de gas combustible, es un método efectivo, pero, en la práctica, es casi cierto que ambos procesos continúan al mismo tiempo. Sin embargo, ya que, las dos “curvas de explosividad” se solapan en una gran extensión, el procedimiento es válido a todos los objetos prácticos.

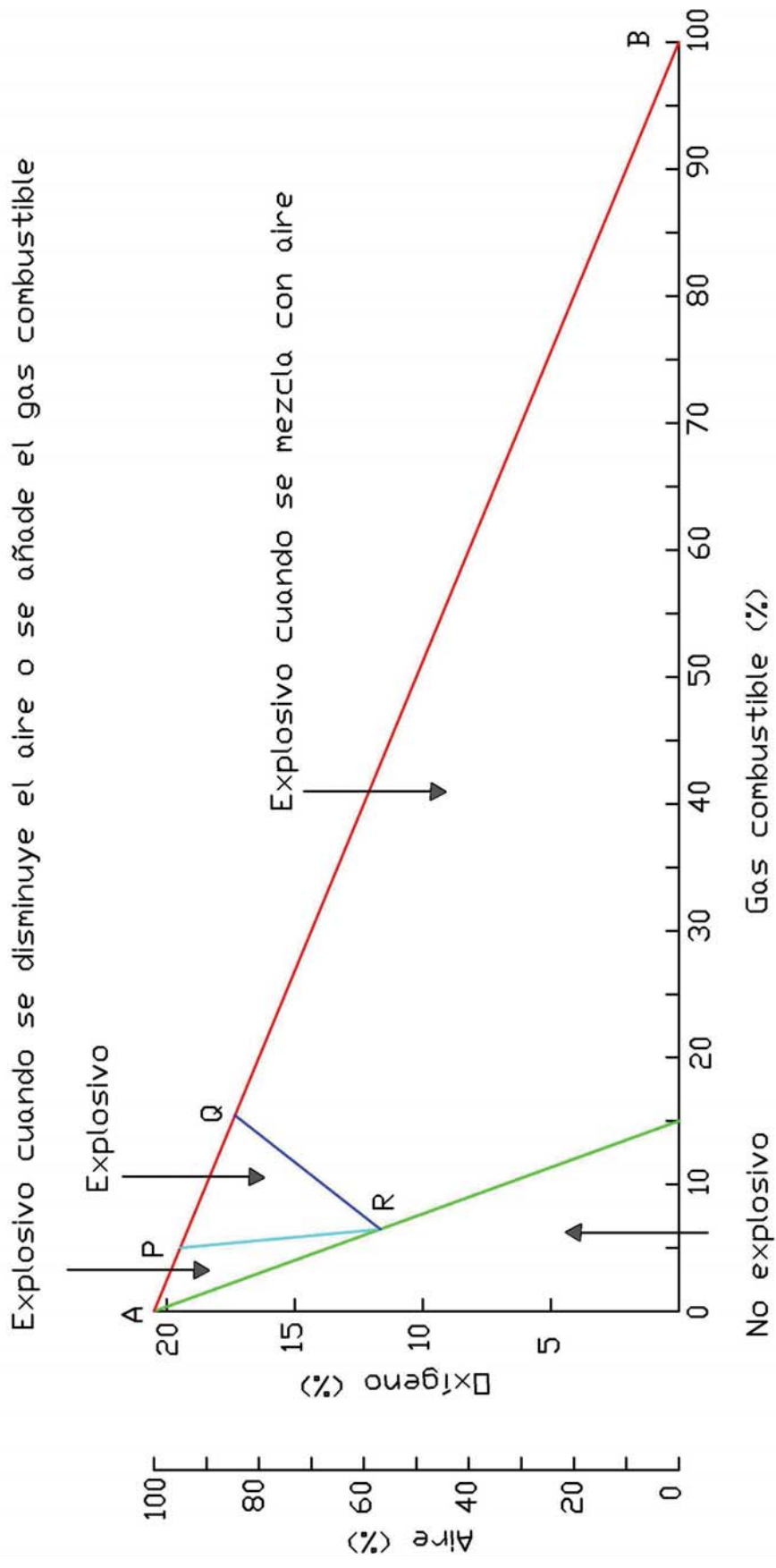


Figura XXXII. Diagrama de Coward

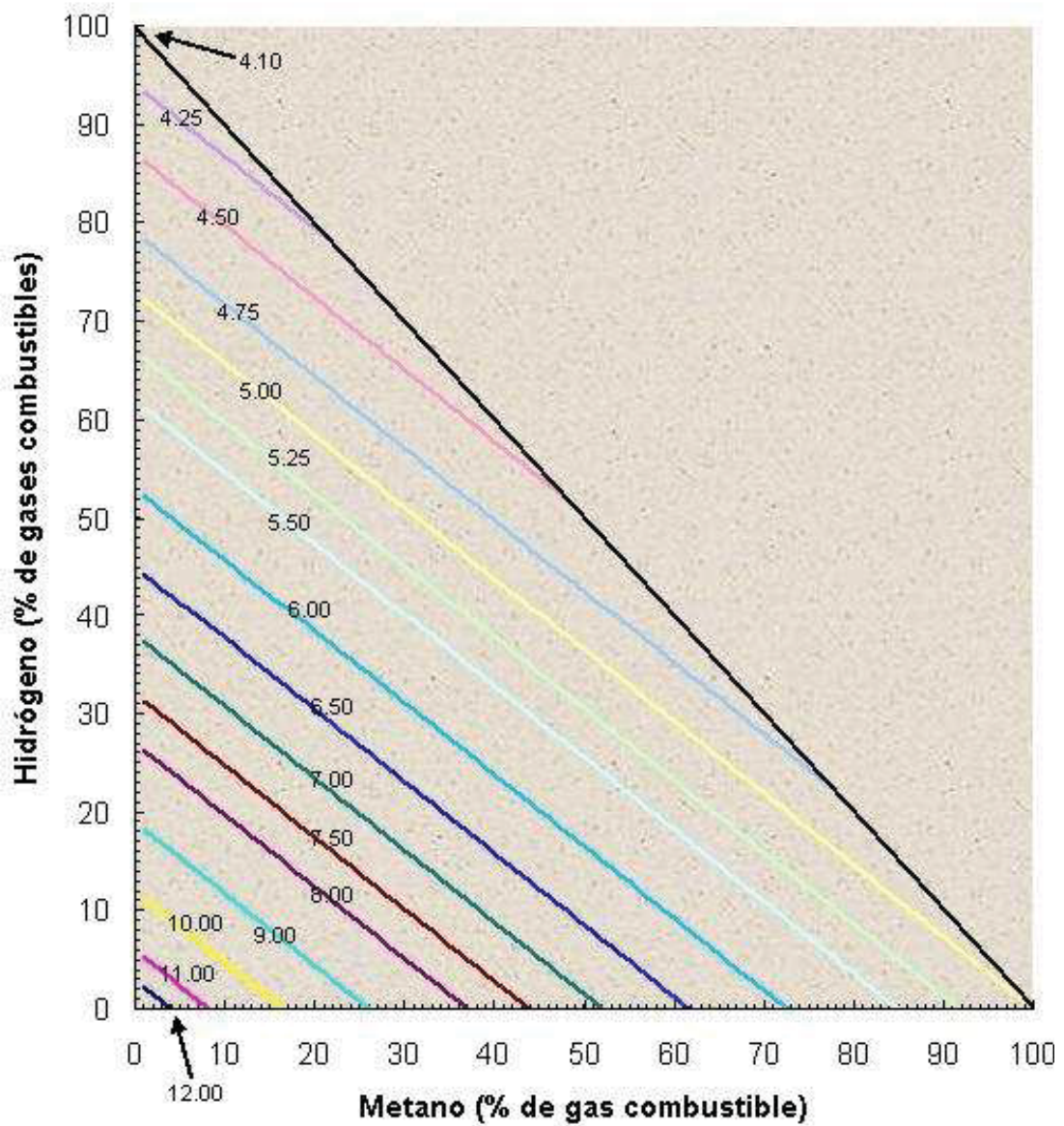


Figura XXXIII. Contenido de gas combustible en el límite de explosividad inferior de las mezclas de CH₄, H₂ y CO en el aire. Monóxido de carbono % = 100 - (CH₄ - H₂)

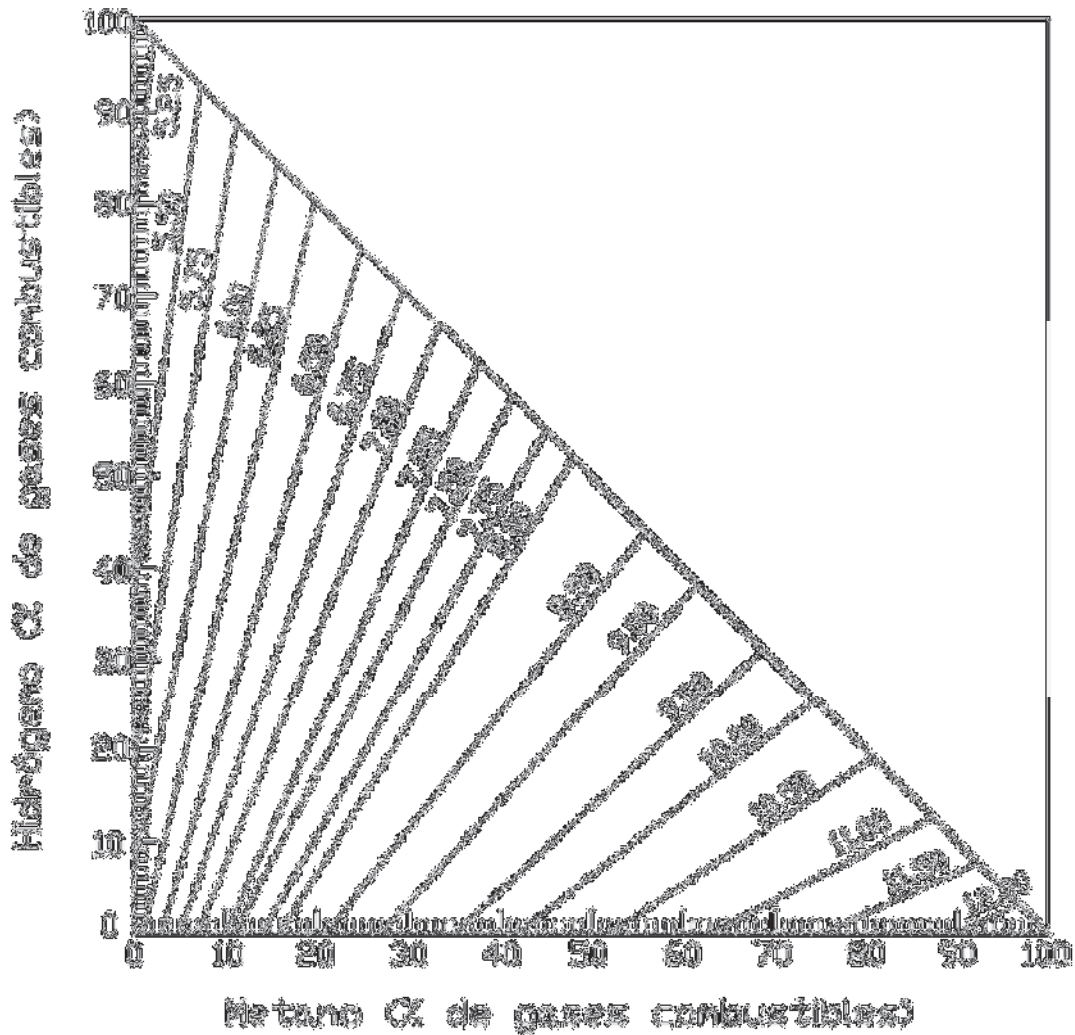


Figura XXXIV. Contenido de oxígeno en los límites del punto de confluencia de las mezclas de CH₄, H₂ y CO en el aire y exceso de N₂. Monóxido de carbono % =

$$100 - (\text{CH}_4 + \text{H}_2\%)$$

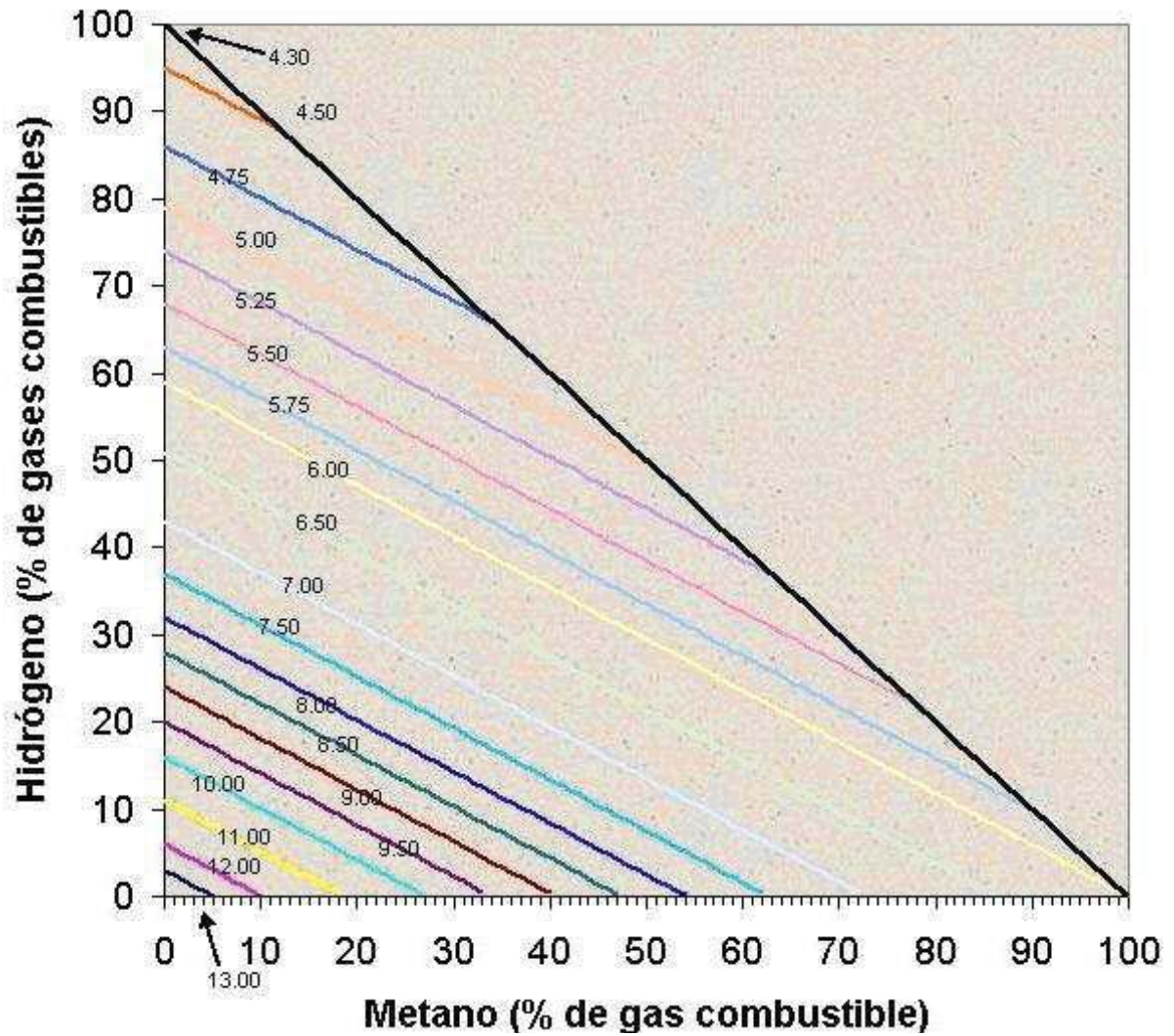


Figura XXXV. Contenido de combustible en los límites del punto de confluencia de las mezclas de CH₄, H₂ y CO en el aire y exceso de N₂. Monóxido de carbono
% = 100 - (CH₄+ H₂%)

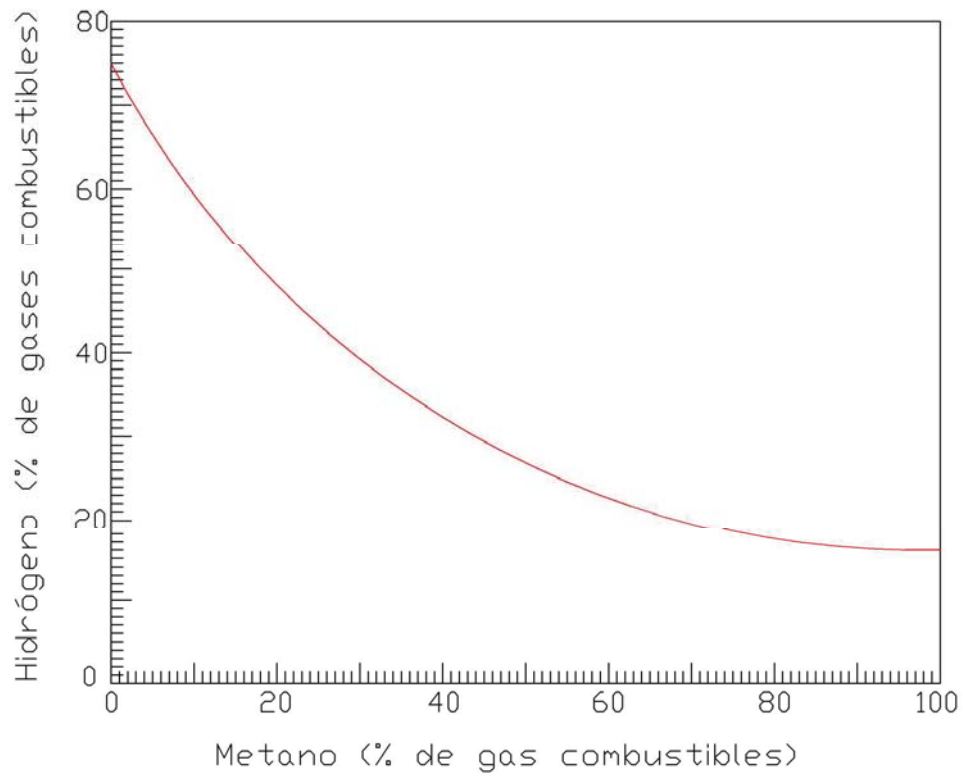


Figura XXXVI. Contenido de combustible en el límite superior de explosividad de las mezclas de CH₄, H₂ y CO en el aire

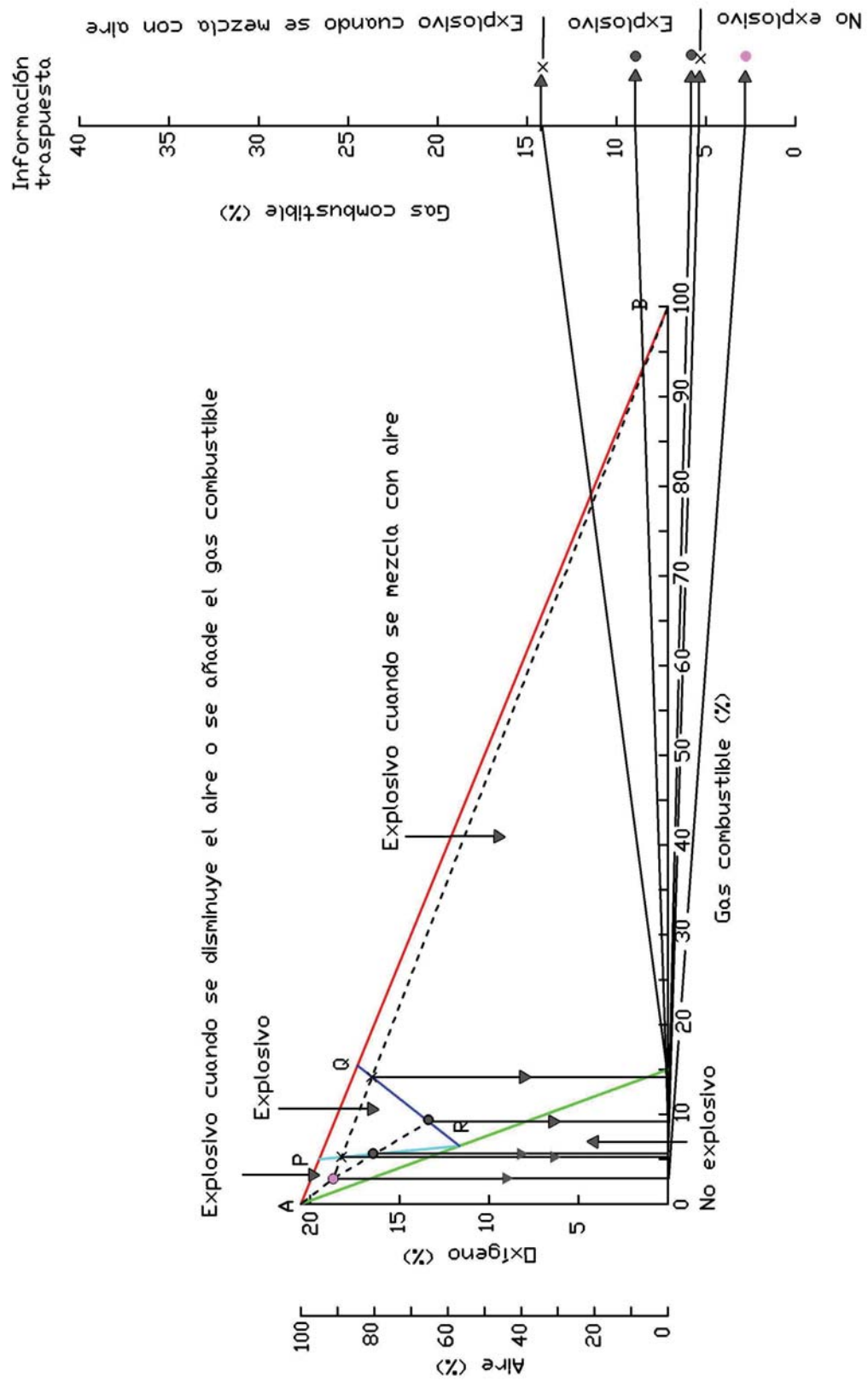


Figura XXXVII. Representación de la muestra 1 en el diagrama de Coward

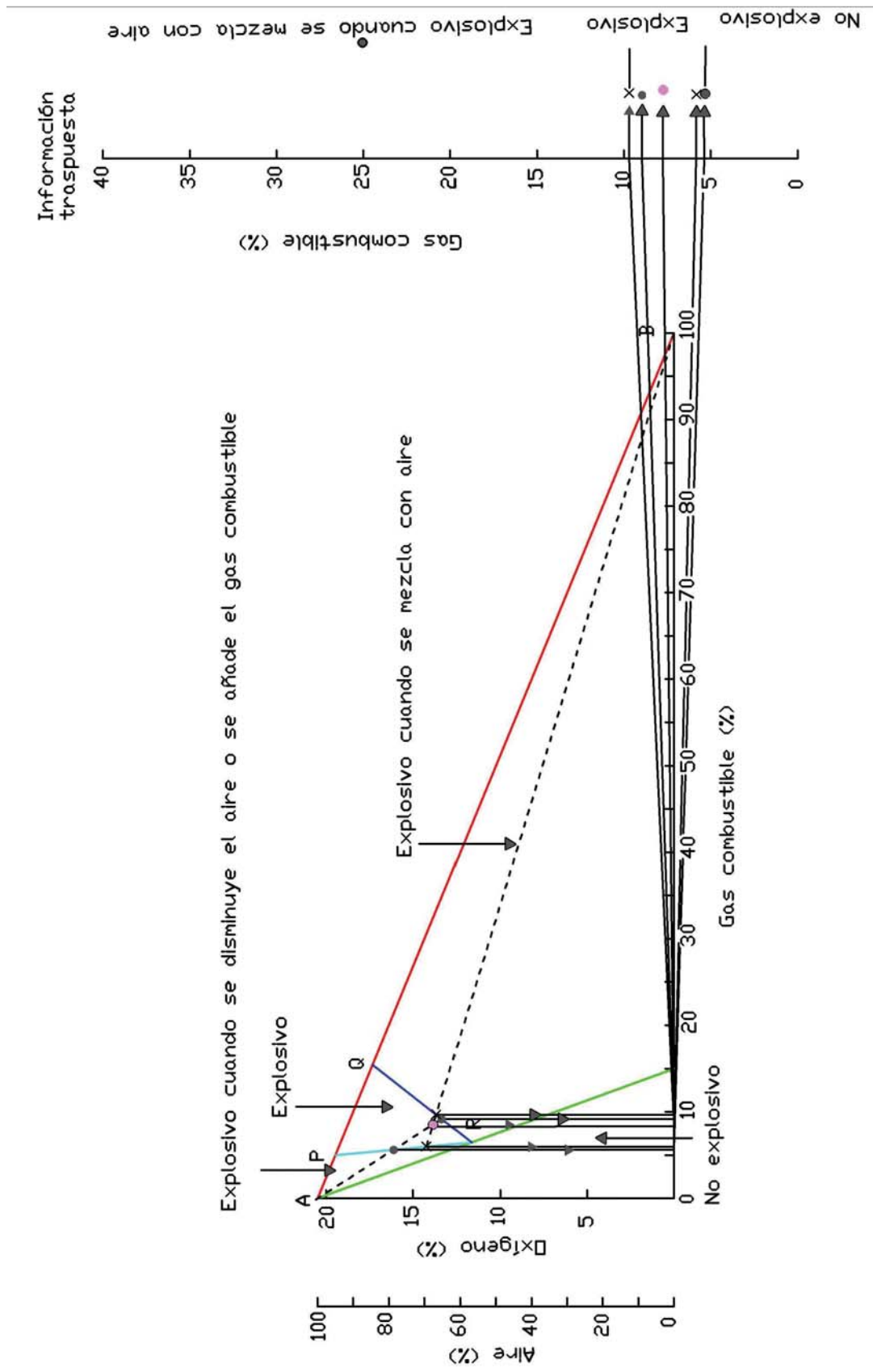


Figura XXXVIII. Representación de la muestra 2 en un diagrama de Coward

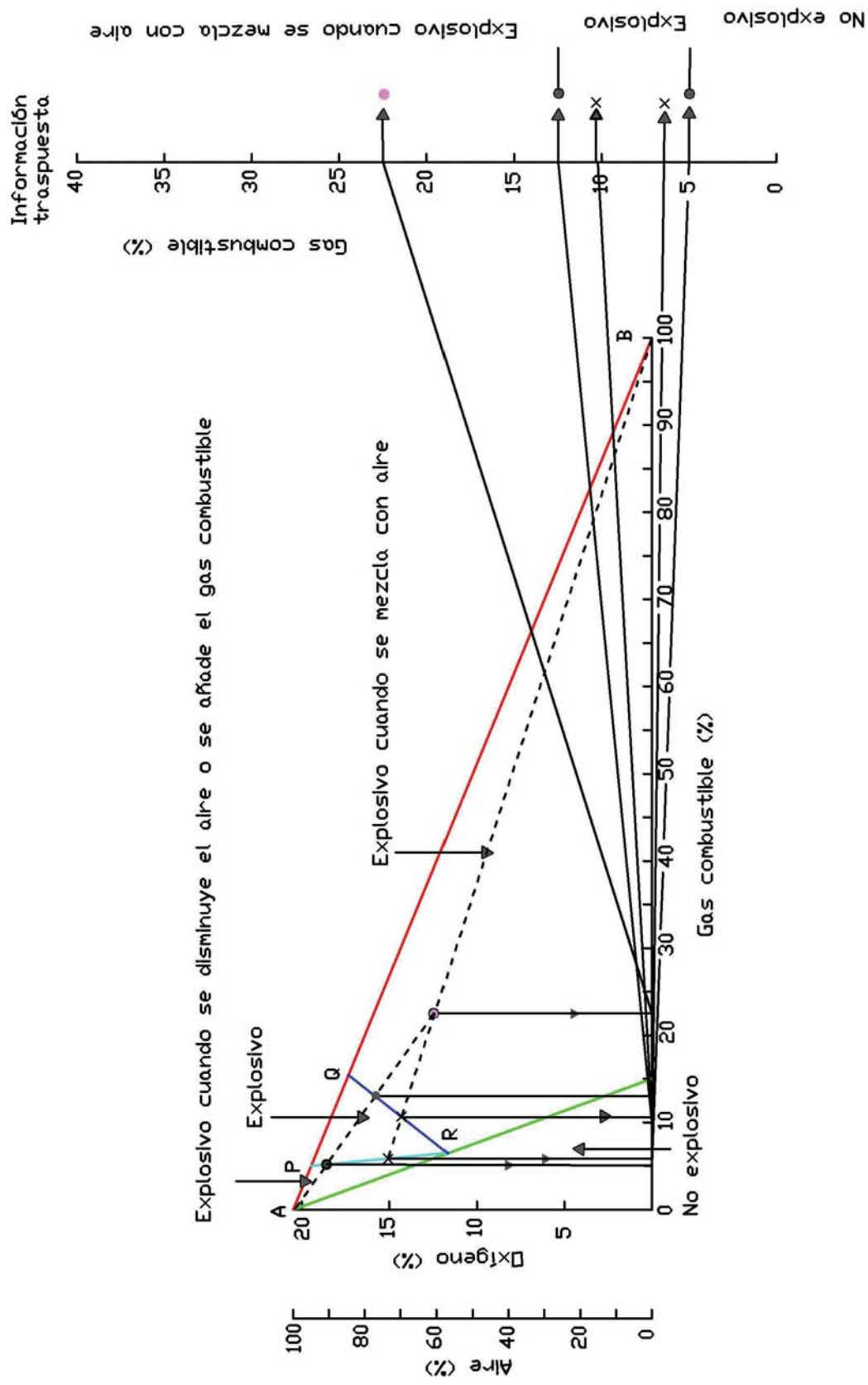


Figura XL. Representación de la muestra 4 en el diagrama de Coward

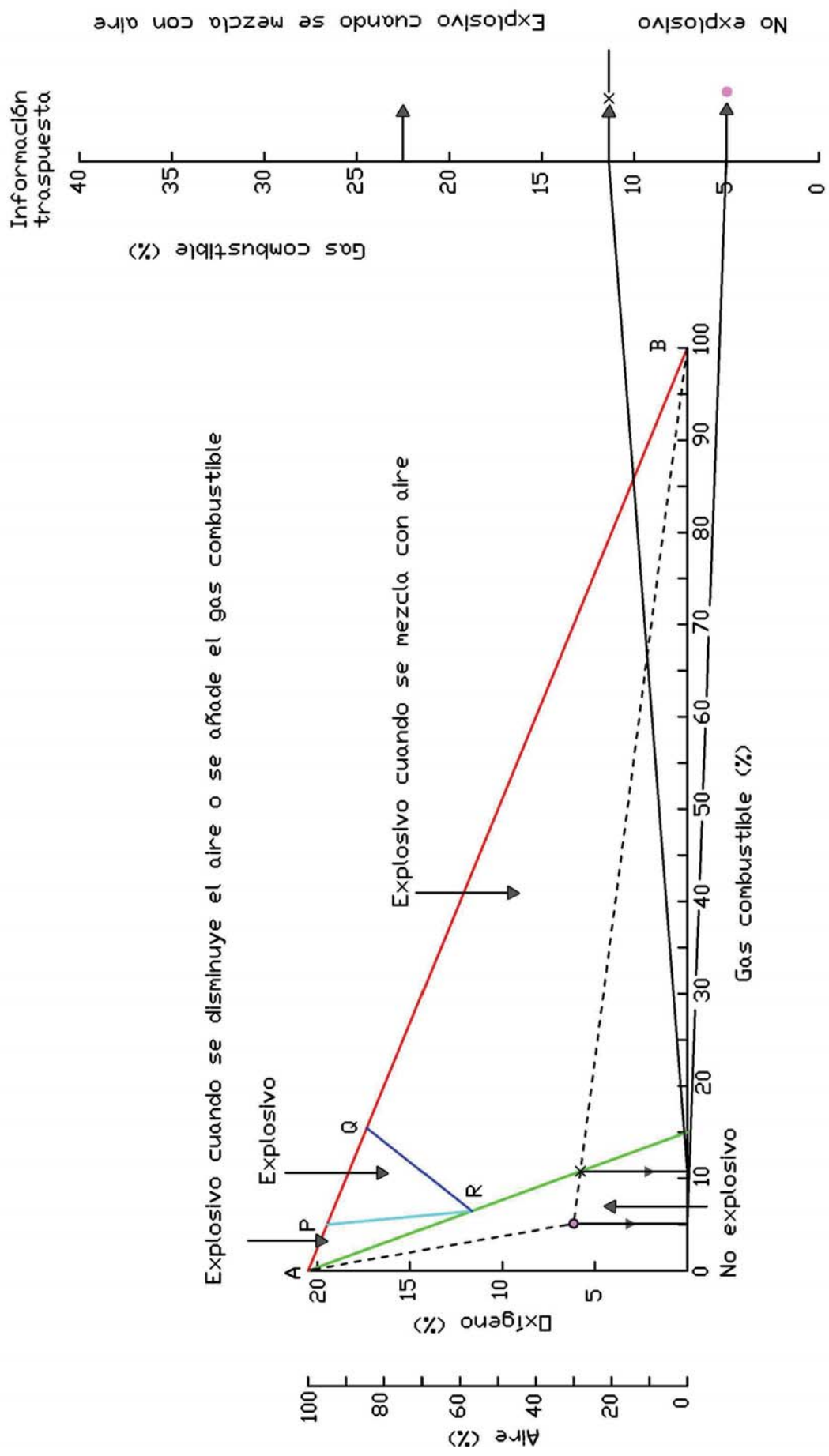


Figura XLI. Representación de la muestra 5 en un triángulo de Coward

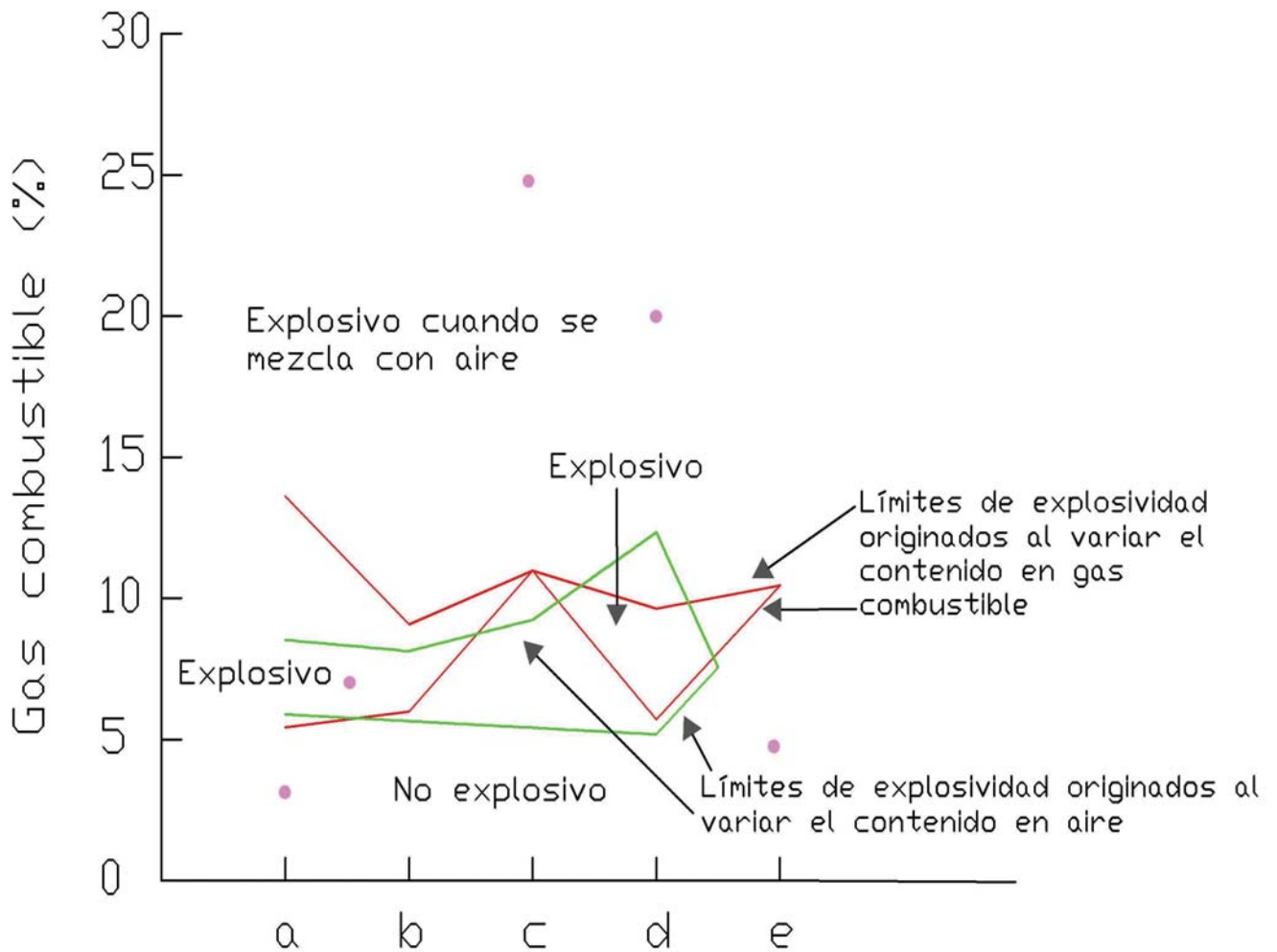


Figura XLII. Representación de la tendencia de explosividad de las muestras 1-5 relacionadas con el tiempo

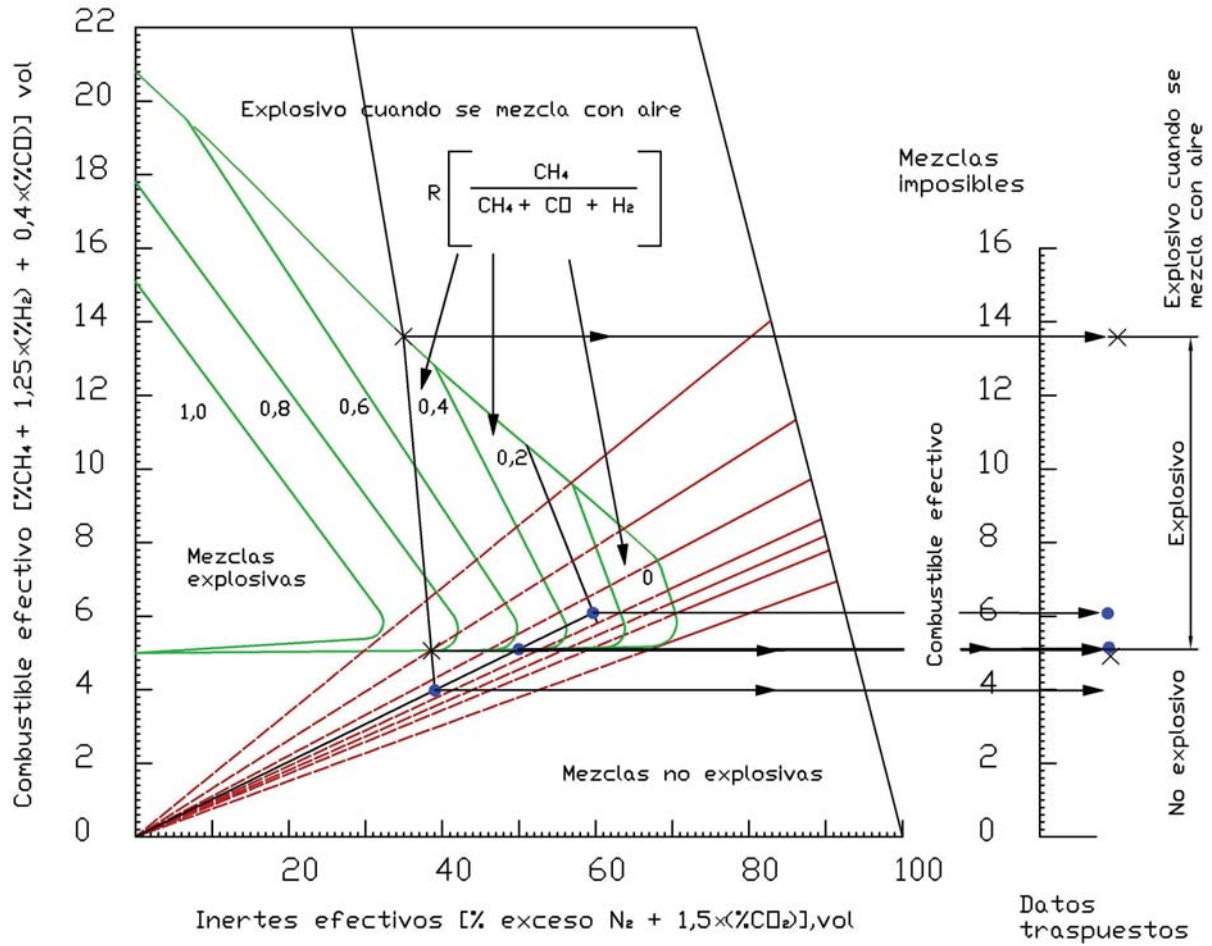


Figura XLIII. Representación de la muestra 1 en el diagrama de USBM

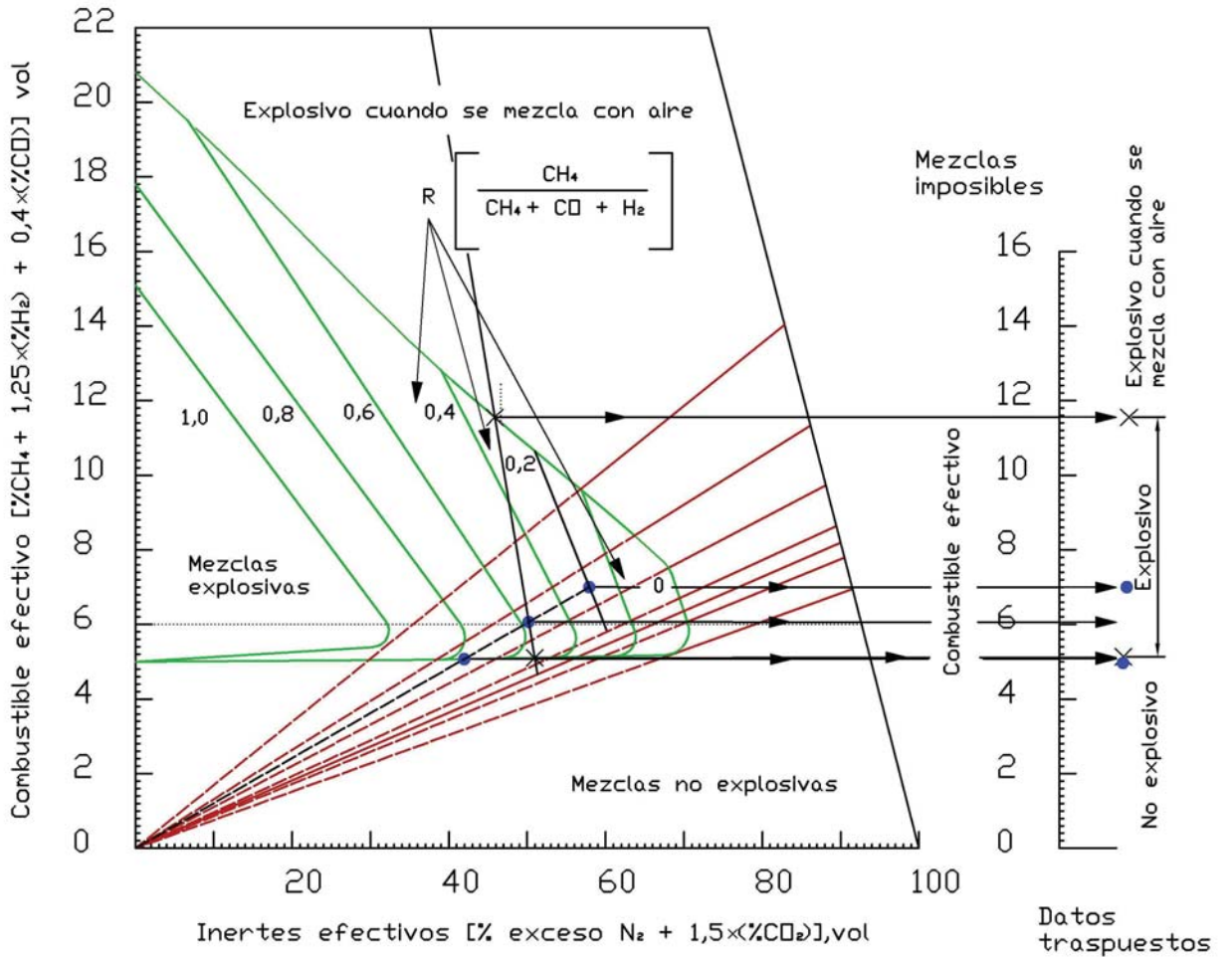


Figura XLIV. Representación de la muestra 2 en el diagrama de USBM

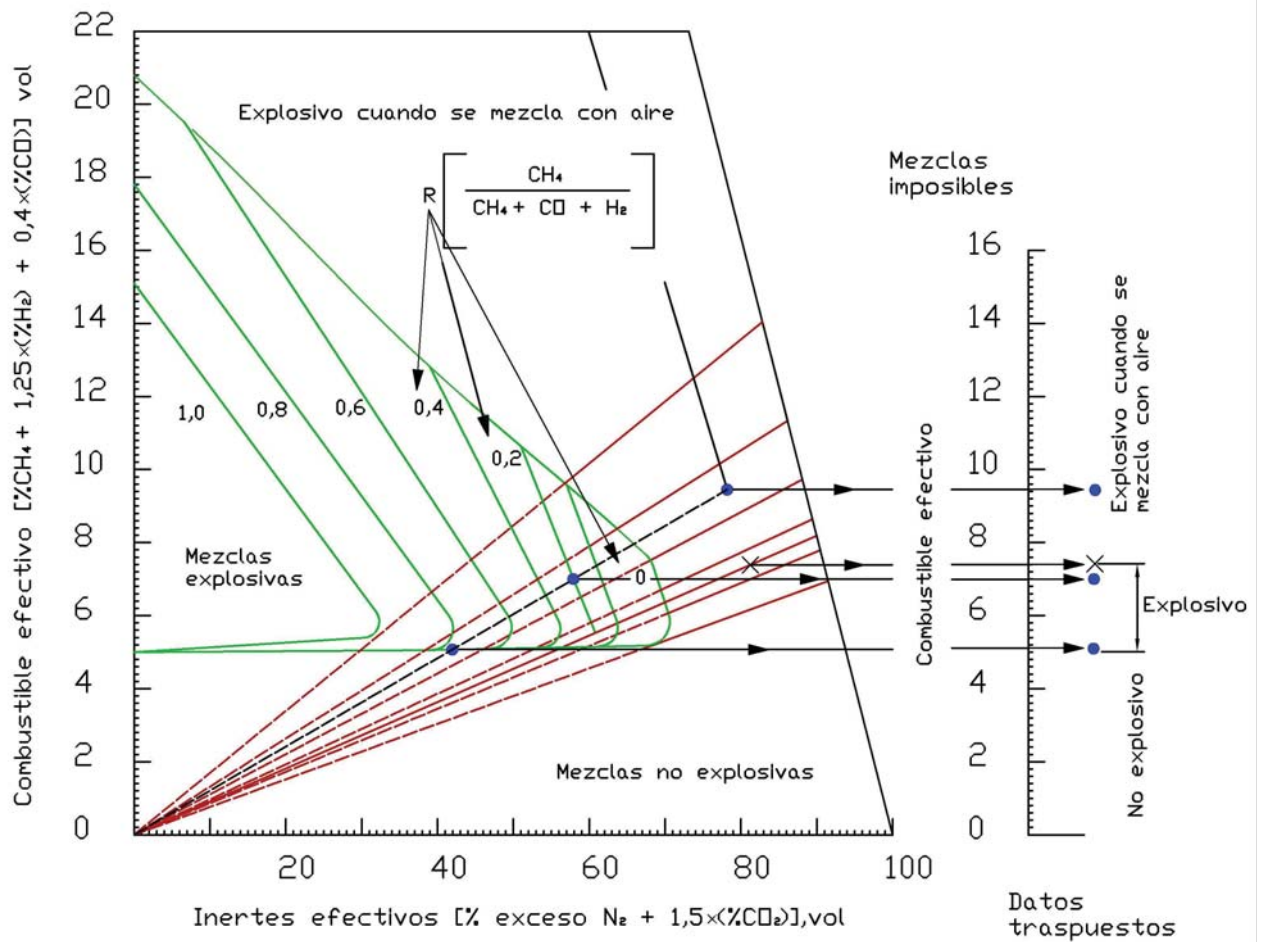


Figura XLV. Representación de la muestra 3 en el diagrama de USBM

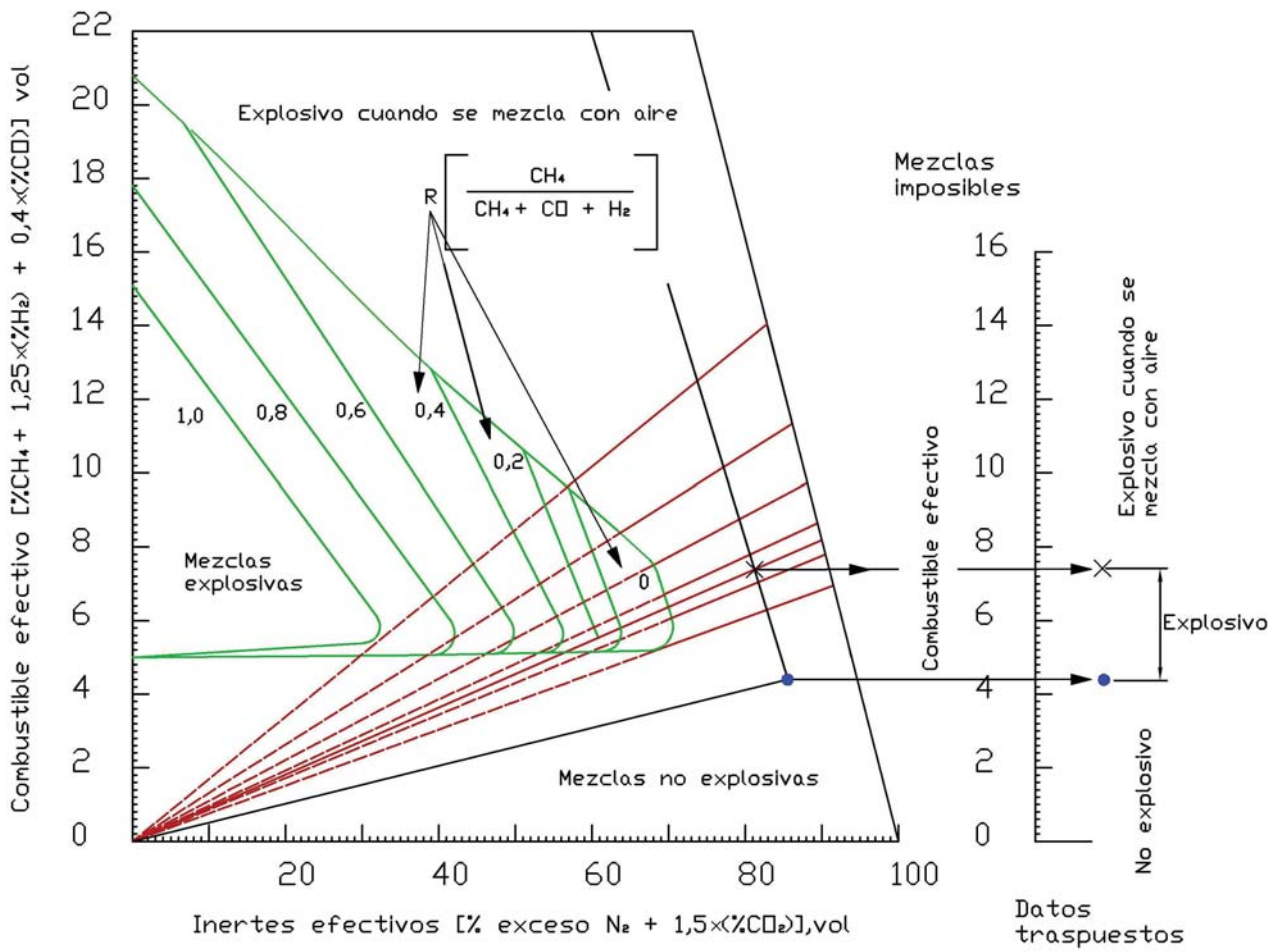


Figura XLVII. Representación de la muestra 5 en el diagrama de USBM

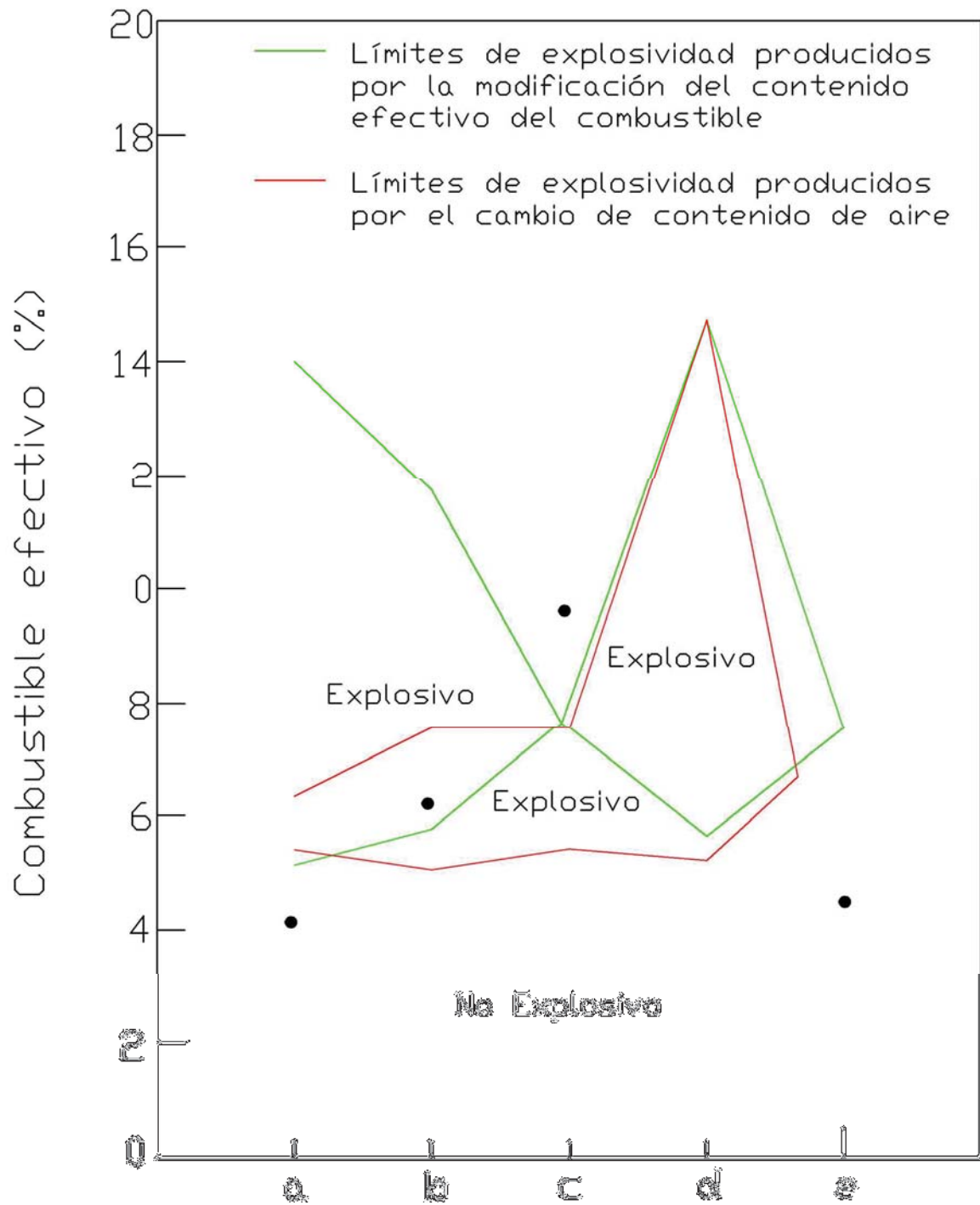


Figura XLVIII. Demostración de la tendencia de la explosividad de las muestras 1-5 en relación a los tiempos de cada muestra

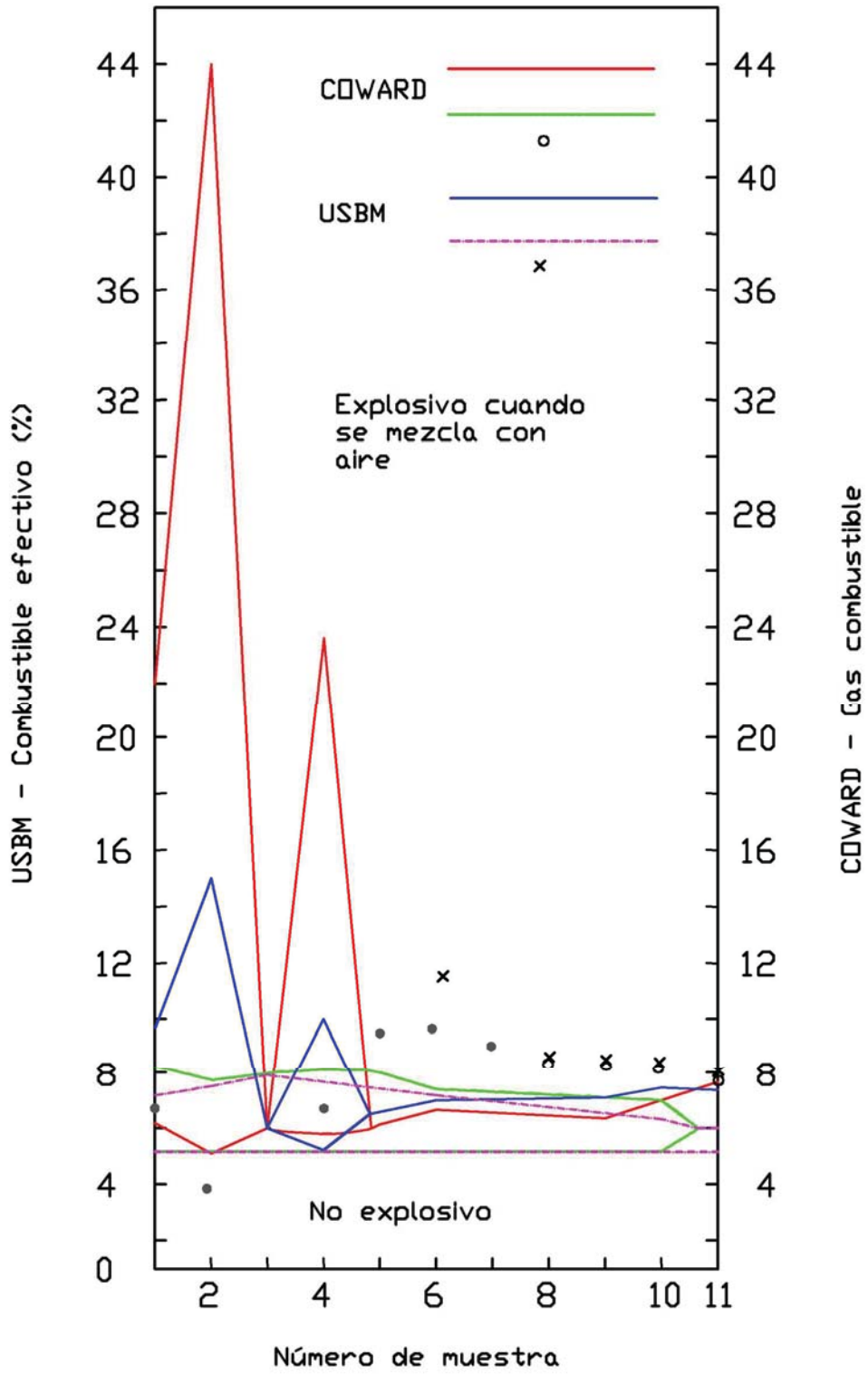


Figura XLIX. Comparación del diagrama de USBM y el triángulo de Coward usando muestras de un fuego real



SECRETARÍA GENERAL
DE ENERGÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA
Y MINAS

ANEXO I

DEFICIENCIA DEL MOGAL RESPECTO A LOS HIDROCARBUROS



ANEXO I. DEFICIENCIA DEL MOGAL RESPECTO A LOS HIDROCARBUROS

En 1992 se descubrió el uso de los tubos detectores para analizar el monóxido de carbono donde se sospechaba un calentamiento. La lectura fue de 3500 ppm. Se tomaron y analizaron muestras por un Laboratorio de Análisis de Gas Móvil o Mobile Gas Analysis Laboratory (MOGAL), el cual indicó una baja concentración de monóxido de carbono. Los instrumentos electrónicos manejados de forma manual confirmaron la lectura del MOGAL. Sólo después de que fueran analizadas las muestras por un cromatógrafo de gases fue revelada la presencia de una alta concentración de etileno (C_2H_4).

Fueron analizadas dos muestras, con los siguientes resultados.

Gases	Muestra 1	Muestra 2
O ₂ %	6,10	5,80
CO%	rastro	rastro
CO ₂ %	2,40	2,50
CH ₄ %	31,10	31,10
C ₂ H ₄ %	2,70	2,70
H ₂ %	0,22	0,23
N ₂ %	57,50	57,70

Es bien conocido que los tubos detectores diseñados para detectar monóxido de carbono, son sensibles al etileno, de manera que la presencia de etileno fue la razón para la indicación del alto monóxido de carbono. Ya que tanto el etileno como el monóxido de carbono son indicadores del calentamiento (ver anexo de indicadores de fuego), los pasos a seguir serían los mismos tanto si el alto monóxido de carbono se debe a al monóxido de carbono o al etileno. En este caso, las muestras serán tomadas y sometidas a un análisis más detallado. La razón por la que no está aclarado este punto, es que el MOGAL

no está diseñado para medir la concentración de etileno. Los tubos detectores captan el monóxido de carbono o el etileno, pero no pueden distinguir entre ambos, mientras que el MOGAL no podría detectar el etileno. El MOGAL parece haber sido diseñado para la determinación de la explosividad midiendo o calculando todos los parámetros necesarios para utilizar el Diagrama de Explosividad, o el Diagrama de Coward. Esta es una deficiencia que debe ser remediada ya que es una ventaja el conocimiento en la detección de la presencia de hidrocarburos en las primeras etapas de la combustión espontánea. Un cromatógrafo de gases cubriría esta deficiencia tanto en conjunción con la existencia de un MOGAL como en lugar de éste. La mayoría de los países con minería, parecen haber adoptado el cromatógrafo de gases como un equipo estándar para el análisis de gases, y pueden usarse algunas versiones en minas subterráneas.

La significancia del etileno

El etileno es producto del calentamiento a una temperatura de 150° C- 180° C. No es producto del fuego porque sería consumido por el mismo. Sin embargo, la atmósfera representada por las muestras representadas anteriormente, no parece ser la típica de aquella producida por un calentamiento. Un calentamiento siempre produce más monóxido de carbono que hidrógeno y más hidrógeno que etileno o propileno. El Índice de Trickett para las muestras es de 0,4, que denota un bajo nivel de actividad, y sería considerado por algunas autoridades como la representación de gases residuales.

Parecería que hay dos posibles explicaciones para la extremadamente alta concentración de etileno en la muestra:

- a) El análisis es incorrecto
- b) La mezcla de gases es un residuo de un calentamiento pasado, y los gases originales han experimentado algún tipo de cambio. Este cambio dado como resultado una reducción del monóxido de carbono e hidrógeno, dejando el etileno intacto.



SECRETARÍA GENERAL
DE ENERGÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DE POLÍTICA ENERGÉTICA
Y MINAS

ANEXO J

INERTIZACIÓN CON NITRÓGENO. PROPIEDADES Y CAUDALES DE APLICACIÓN



ANEXO J. INERTIZACIÓN CON NITRÓGENO. PROPIEDADES Y CUDALES DE APLICACIÓN

La inertización con Nitrógeno puede tener por objeto:

- Transformar las mezclas gaseosas explosivas en mezclas no explosivas.
- Reducir el aporte de oxígeno a los fuegos ocultos, de forma que el fuego se retraiga.
- Reducir la entrada de aire al fuego
- Extinguir los fuegos abiertos, bien de la madera, de las cintas transportadoras y otros, así como para refrigerar los cuarteles incendiados aislados por tabiques, antes de proceder a su visita, por los equipos de salvamento.

Según el objetivo buscado, debe reducirse el contenido el oxígeno en mayor o menor grado.

Si se trata de evitar el riesgo de explosión debido al metano es preciso disminuir el contenido en oxígeno por debajo del 12 % en volumen. Pero si existen concentraciones elevadas de Hidrógeno, deberá ser educida por debajo del 5 %,

Si se utiliza como medida preventiva para evitar el autocalentamiento del carbón, es suficiente reducir el contenido en oxígeno en algunos puntos, pero si se utiliza para extinguir un incendio, es precisa la inertización total.

Propiedades y preparación del nitrógeno.

En algunos casos el nitrógeno puede aplicarse en estado líquido sobre el lugar del incendio, pero lo normal es que se reciba en este estado en el exterior de la mina, que se evapora para transportarlo y aplicarlo como un gas. La correspondencia entre las cantidades líquidas y gaseosas es la siguiente:

1 kg de N₂ líquido = 1,25 l = 0,8 m³ N₂ gaseoso a 273 K, 1,01 bar

1,25 kg de N₂ líquido = 1,55 l = 1,0 m³ N₂ gaseoso a 273 K, 1,01 bar

Peso molecular	28,01g/mol
Punto de fusión	483 K
Densidad, líquido en punto de ebullición	80 K
Densidad en estado gaseoso, respecto del aire	9,7.10 ⁻⁴ g/cm ³
Densidad en estado gaseoso	1,25 kg/m ³ , 273 K /1,01bar
Calor de evaporación	198,2 J/g
Temperatura crítica	420 K
Presión crítica	33,84 (bar)
Calor específico a 20 ° C	1.038 J,7g K
Conductividad térmica a 0° C	24,4 mW /m K

Para evaporar un kilogramo de nitrógeno líquido y llevarlo aproximadamente a una temperatura de 278 K, la experiencia ha probado que se requiere alrededor de 630 x 10³ Julios en las condiciones de explotación.

La evaporación del nitrógeno, puede realizarse por varios procedimientos, en función de lo caudales a suministrar:

- Unidades de separación del aire y transporte por tubería al aire y transporte por tubería al área con fuego. Se utilizan capacidades hasta 13 m³/ h.
- Unidades de evaporación a temperatura ambiente y transporte por tubería al área con fuego. Incluso camiones cisterna con calentadores atmosféricos. Válidos para capacidades del orden de 50 m³/h.
- Unidades de vaporización con aporte de calor externo y transporte por tubería al área con fuego. La capacidad de cada evaporador es del orden de 300-400 m³/h. El calentamiento puede hacerse con propano, fuel-oil o incluso con vapor de agua.

Los consumos energéticos necesarios para producir 100 m³ de nitrógeno por minuto son:

Forma	Unidad	Necesidad para 100 m ³ /min N ₂
Vapor saturado (5,5 atm)	t/h	1,8
Fuelóleo	Kg/h	88,6
Propano	Nm/h	39,2
Electricidad	kW	876,1

Caudales de nitrógeno aplicados

Los caudales de nitrógeno aplicados varían ampliamente en función del objetivo buscado. Algunos valores orientativos, son los siguientes:

- Como medida preventiva para inyectar los fines de semana o durante las paradas de los tajos, se aplican unos caudales de unos 50 a 100 m³/h.
- Como medida preventiva para evitar fuegos en el hundimiento de los talleres explotados por tajo largo o por sutiraje, se aplican valores variables entre 100 y 150 m³/h.

Como medida de lucha contra fuegos en los talleres en los que se detecta calentamiento, se aplican valores de 300-400 m³/h en las primeras etapas, que pueden reducirse a 100-150 m³/h una vez que se reducen los contenidos de CO.

- Para proceder a la inertización en las zonas de mina tabicadas, se requieren 3.000 m³/h.
- Para proceder a la extinción de incendios, se requieren cantidades superiores a 6000 m³/h, llegando incluso a 20.000 m³/h

La aplicación de nitrógeno requiere varias condiciones para que sea eficaz. Si se aplica como medida preventiva son:

- Que no haya sido posible evitar el paso de fugas de aire a través del carbón fisurado.
- Que la circulación de aire sea pequeña, al menos comparada con el caudal de nitrógeno disponible.
- Que sea posible la inyección en la corriente de fugas de aire entrantes.

Si se aplica para extinguir un incendio, es preciso que los caudales de aire que se fugan a través de los tabiques sean reducidos.

Para calcular los caudales de N₂ se adjuntan los siguientes gráficos de las figuras XLIX y L.

Los caudales a transportar por tuberías de distintos diámetros se reflejan en los gráficos de las figuras LI, LII y LIII, y los valores de presión de los conductos horizontales de nitrógeno se reflejan en la figura LIV.

El gráfico de la figura B8 permita un cálculo más detallado. La fórmula aplicada para la pérdida de carga es la utilizada para las sustancias compresibles suponiendo un cambio de estado isoterma y despreciando el factor de aceleración:

$$P_1^2 - P_2^2 = \lambda \times k \times \frac{L \times W_n \times \rho \times P_n}{d} Nm^{-2}$$

λ : coeficiente de frotamiento de los tubos

k: Índice de compresibilidad

L: longitud en metros

W_n: Velocidad de circulación en metros por s⁻¹

ρ : Densidad del gas en kg/m³

P₁ y P₂: Presión absoluta del gas en al inicio (1) y al final (2) del tramo de canalización, por metro cuadrado.

D: Diámetro del tubo, en metros

Índice n: Variable para corregir las desviaciones respecto a las condiciones de temperatura y presión a 0º C y 1.0133 bar.

Tomando los coeficientes que corresponden al nitrógeno la expresión anterior adopta la forma:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{L} = 0.427 \times \frac{Q_n^2}{d^5 \times 10^{10}} (\text{bar}^2 \text{km}^{-1})$$

P_1 y P_2 se expresan en bar

Q_n : Caudal de nitrógeno en $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$

D: en metros

L: en km

Como conducciones, pueden utilizarse tuberías especiales, o bien aprovechar las de aire comprimido, agua, relleno neumático u otras.

Espumas físicas con nitrógeno

Como variante a la aplicación de Nitrógeno, se encuentra la de la espuma aerodinámica, realizada con nitrógeno en vez de aire.

Ejemplos de aplicación

Peden ser numerosos los ejemplos de aplicación de N_2 . Reflejamos sólo dos de ellos:

Ejemplo 1: Taller de alta propensión al fuego, explotado en retirada y con cierre de espuma en borde de taller y con cierre con espuma con borde de taller (figura L).

Se dejan tubos en el hundimiento por los que se inyecta N_2 y que a su vez incluyen otros para toma de muestras de gases.

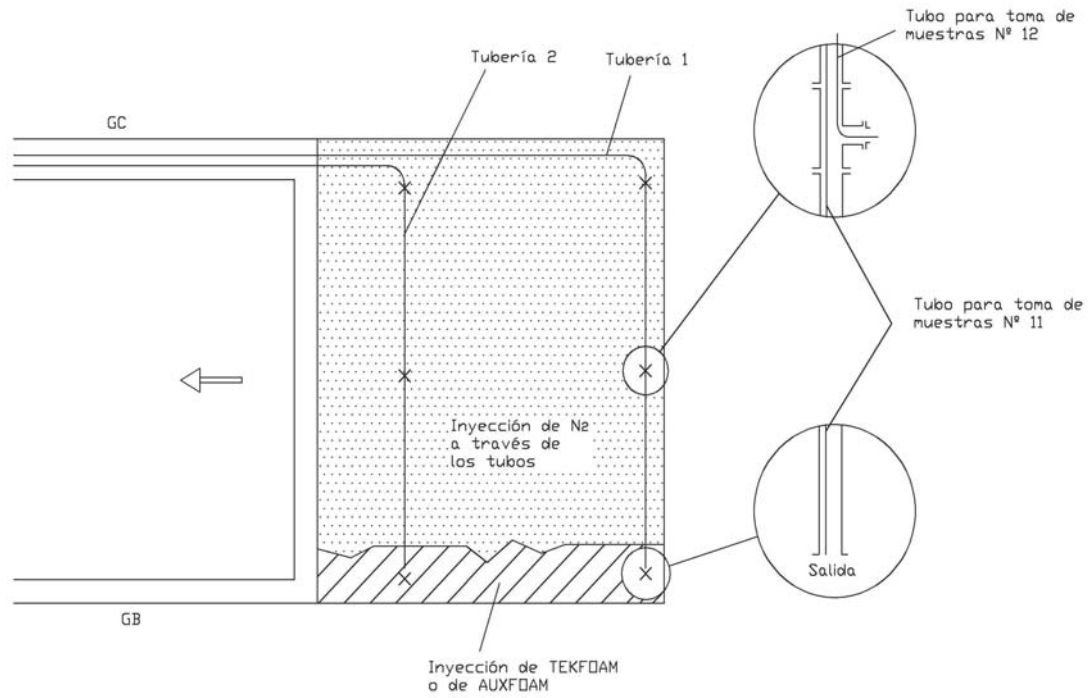


Figura L.

Ejemplo 2: Corresponde a un taller aislado con tabiques en el que se extingue fuego aplicando N_2 (figura LI).

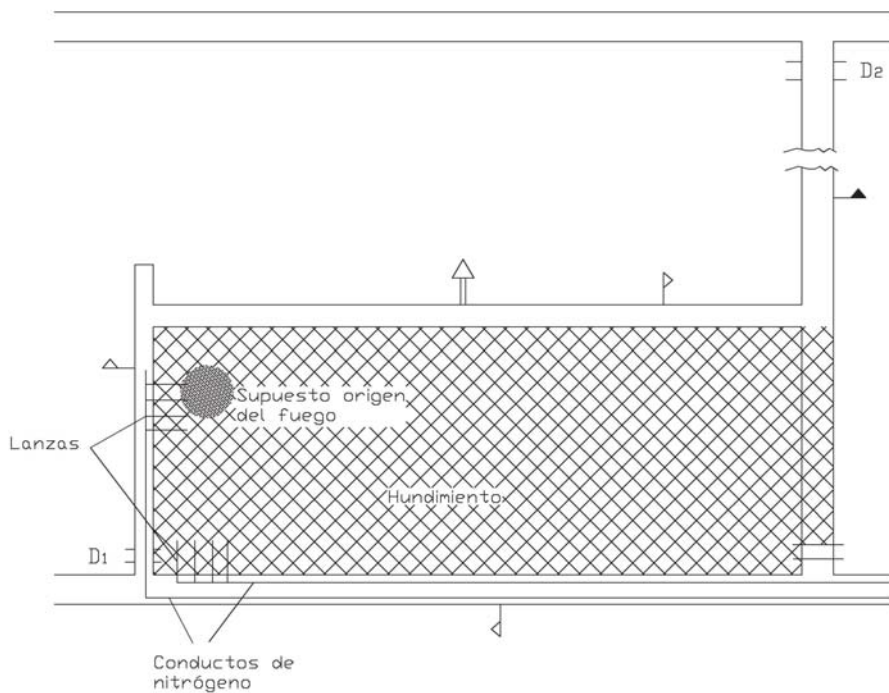


Figura LI.

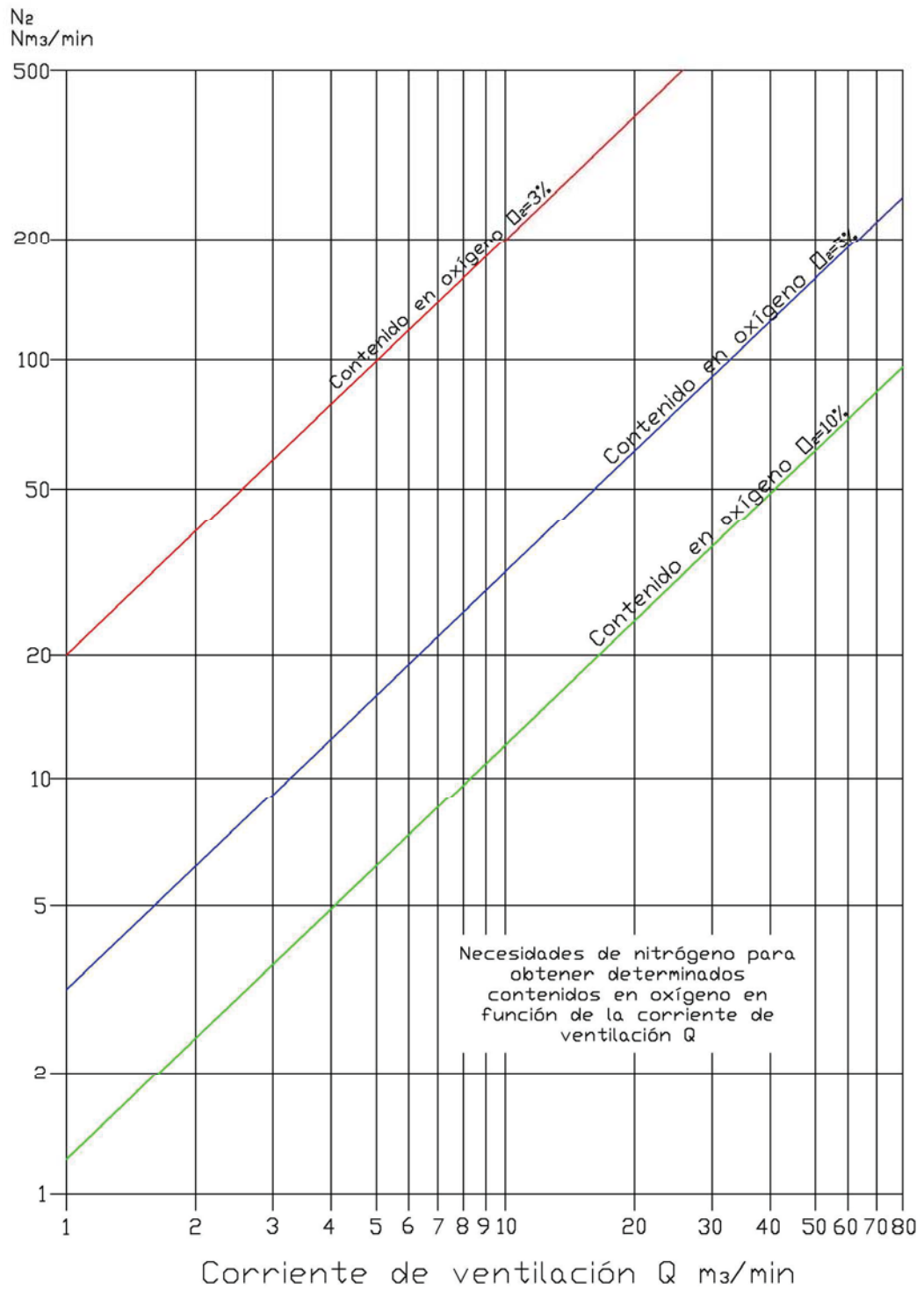


Figura LII.

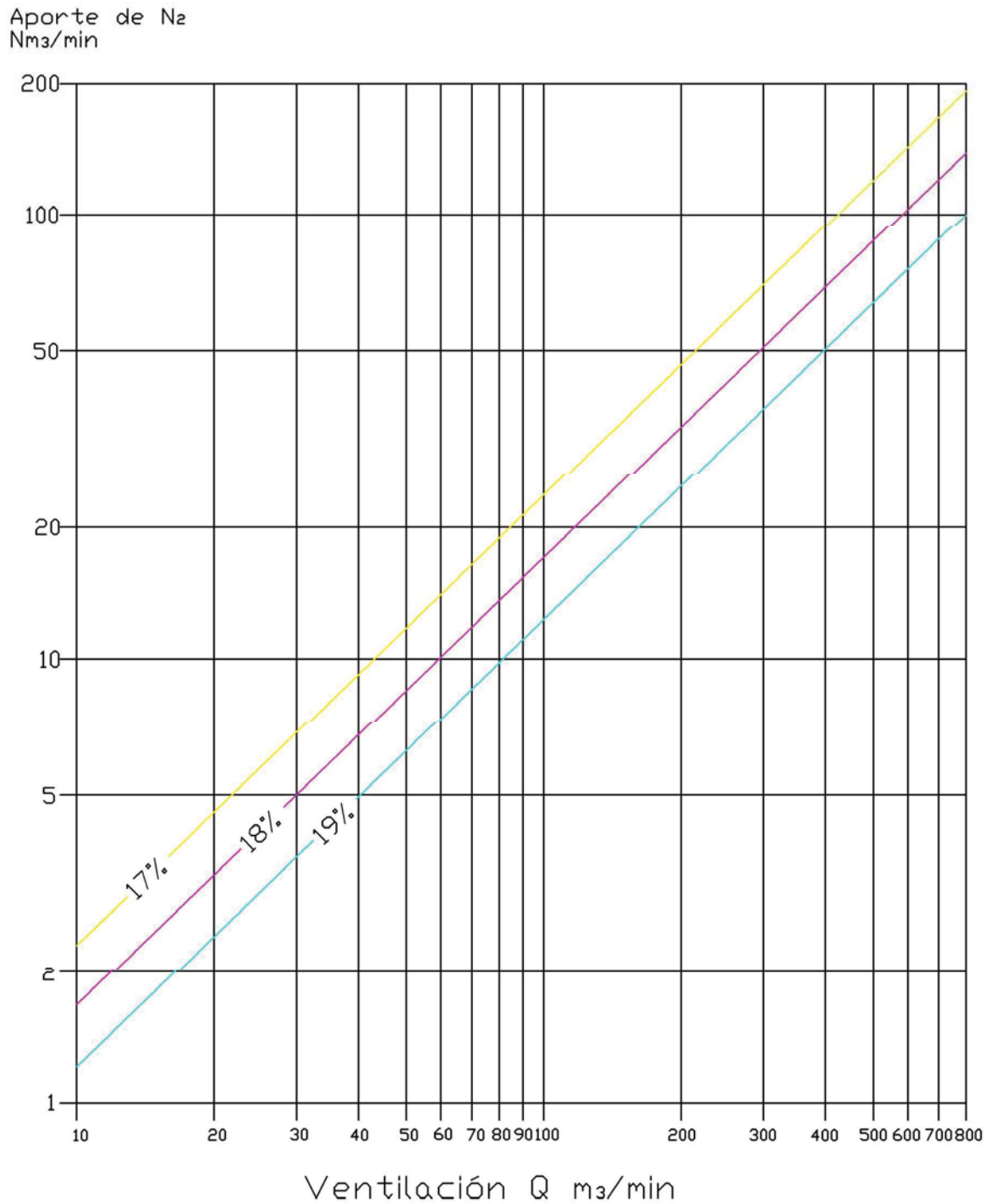


Figura LIII. Curva límite del peligro de asfixia en función del aporte de nitrógeno en labores mineras con ventilación traspasante en función del caudal de aire Q para contenidos en O₂ de 17,18 y 19 %.

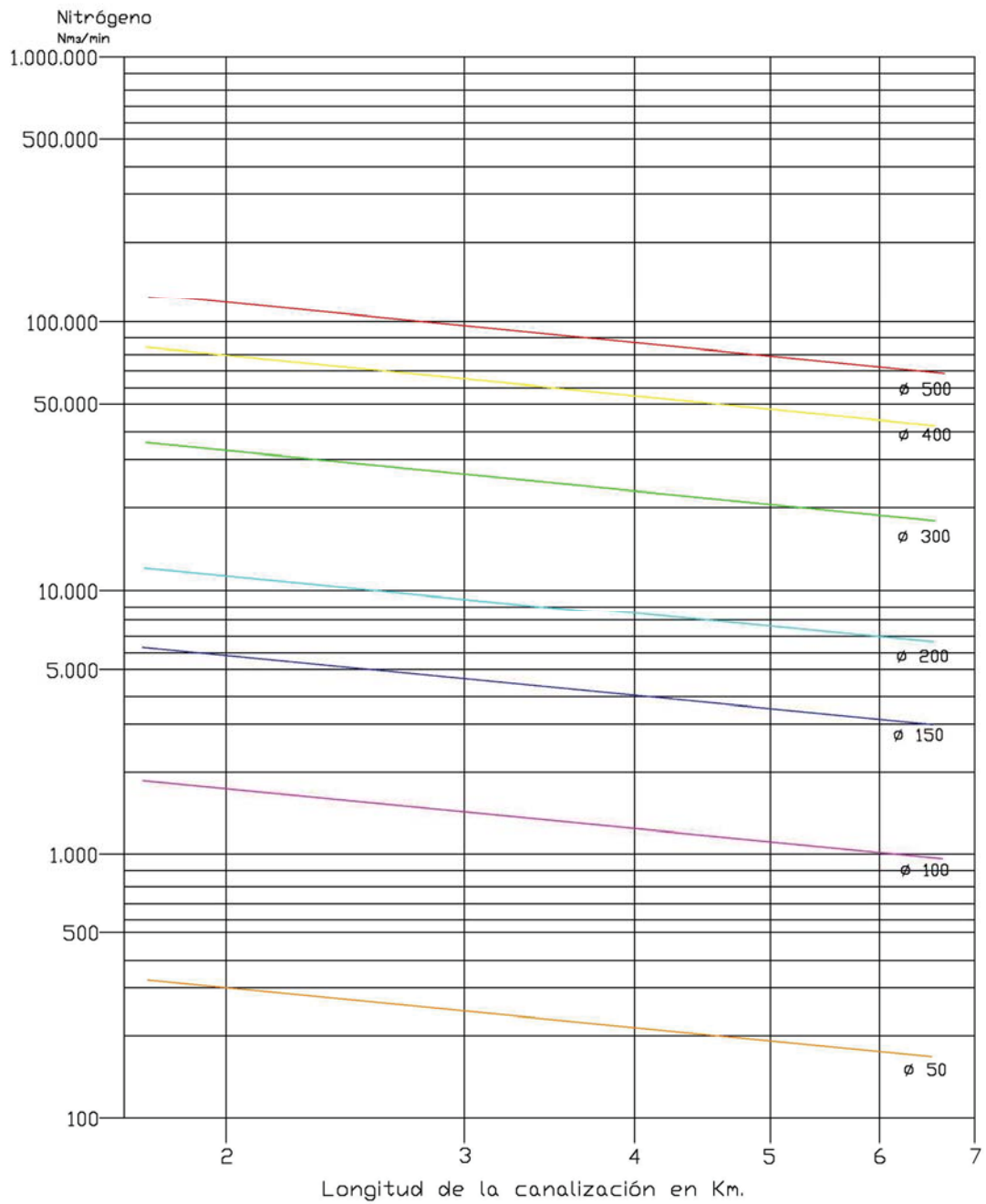


Figura LIV. Caudal de nitrógeno con una presión de 5,06 bares. Al día en el evaporador

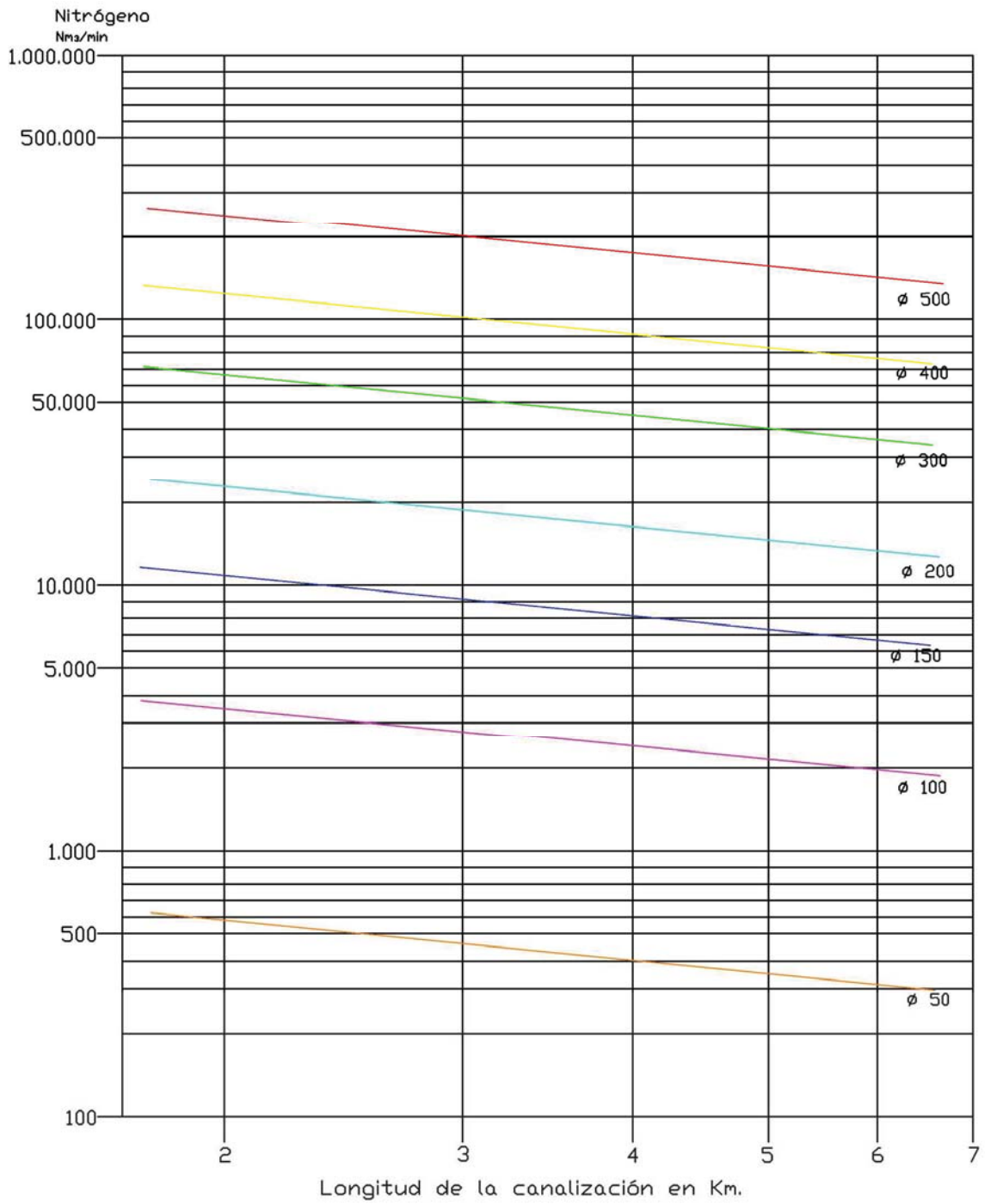


Figura LV. Caudal de nitrógeno con una presión de 5,06 bares. Al día en el evaporador

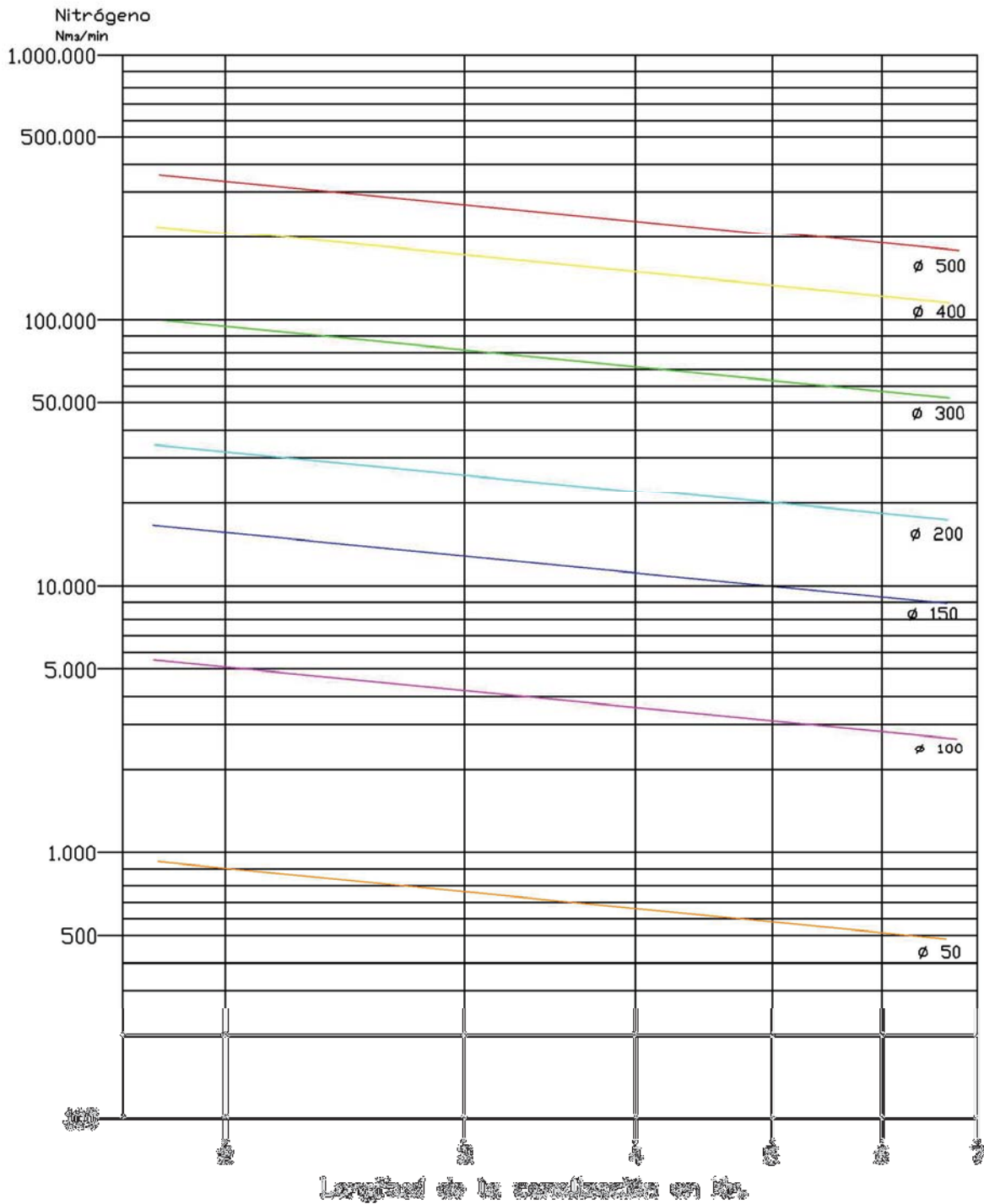


Figura LVI. Caudal de nitrógeno con una presión de 5,06 bares. Al día en el evaporador

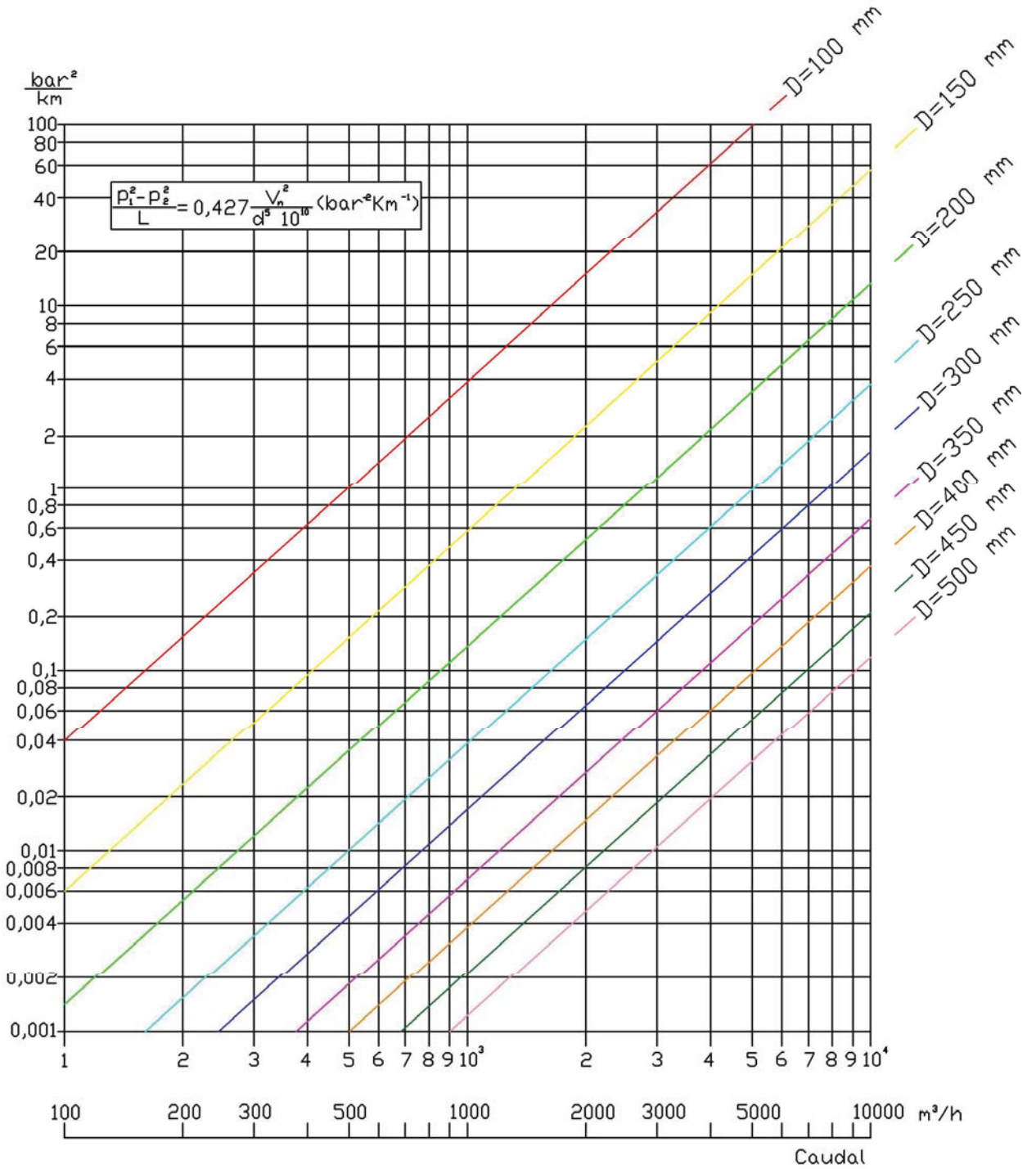


Figura LVII.