

Recibido: 25 / 11 / 2008, aceptado en versión final: 19 / 12 / 2008

# Control y prevención de incendios En operaciones mineras metálicas

Fire control and prevention in metallic mining operations

**Oswaldo Ortiz Sánchez<sup>1</sup>, Mauro Giraldo Paredes<sup>1</sup>,  
Godelia Canchari Silverio<sup>1</sup>**

---

## Resumen

En yacimientos metálicos pueden generarse incendios accesibles e inaccesibles no tan frecuentes pero con tendencia a ser más extensos que en minas de carbón pudiendo producir mayores pérdidas pero con menor número de muertes.

Hay diversas causas de incendios en las operaciones mineras subterráneas de las cuales los incendios espontáneos de piritas inestables son de mayor cuidado por ser causados por la oxidación rápida de sulfuros finamente divididos en contacto con el oxígeno del aire o el agua.

Se tienen varias formas de combatir los incendios en minas subterráneas como inundación de la zona incendiada, sofocación del incendio, uso de lodos y relleno hidráulico. Este último es el más efectivo, especialmente en incendios de gran magnitud.

Las formas efectivas de prevención de incendios en operaciones mineras subterráneas son: Evitar derrumbes eligiendo un método de minado apropiado, no usar material inflamable en sostenimiento o en barreras aislantes del fuego, disparar en los frentes de avance solo cantidades de materiales que puedan ser extraídas antes de generar altas temperaturas, no usar para relleno materiales con contenido de pirita, etc.

Se describe la ocurrencia de un incendio en un sector de una mina y la organización del ataque contra el fuego, ejecutando un plan y organizando al personal. Se estima, asimismo, el costo directo e indirecto del incendio encontrando que el costo indirecto es generalmente de mayor magnitud que el directo.

## Abstract

Accesible and non accesible underground fires in metal mines may be generated but they are not so frequent as in coal mines. However, metal mine fires generally develop more extensively causing greater losses but with few deaths as compared with coal mine fires.

There are many causes of fires in mining operations but those fires in unstable pyrites are more dangerous because of the rapid fine grained sulphide oxidation in contact with oxygen in air or water.

Fires in underground mines may be controlled by flooding of the affected area, suffocation and filling of the area by mud or tailings, this last being the effective way of fire fighting particularly in fires of large extension.

Effective ways of fire prevention consist of preventing subsidence of the mined area by appropriate election of the mining method, no use of inflammable materials either as excavation support or insulating barrier, break material by blasting only in quantities that can be transported before high temperatures develop in the broken material, never use pyrite contained waste as filling of mined areas, and so on.

The study presents a brief description of a mined area set on fire by spontaneous ignition of pyrite and other sulphides. Also it presents the personnel organization and the plan proper to fight the fire. It estimates the level of direct and indirect costs of fire control in an underground mine.

---

Docentes EAP de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica.  
E-mail: osoos1990@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Aunque los incendios no son causas principales de accidentes en las minas metálicas subterráneas, en algunos de ellos se han producido fuertes pérdidas no solamente de vidas como el ocurrido en la mina Casapalca en 1948 (hoy mina Yauliyacu), sino también de materiales y reservas minerales, como en la mina Lourdes de Cerro de Pasco. Cualquier incendio en las labores subterráneas de las minas puede poner vidas en peligro, aun cuando se trate de un incendio pequeño, en razón de que se producen gases nocivos que pueden asfixiar o envenenar a trabajadores situados en lugares muy apartados unos de otros. En el subsuelo, un incendio insignificante puede convertirse rápidamente en un incendio grave que para dominarlo y extinguirlo demandará tiempo y alto costo en mano de obra y materiales, y causará la pérdida de producción y aun del mineral cuando no existe la posibilidad de recuperar la zona incendiada. A menudo los resultados de los incendios en las minas subterráneas son más graves de lo que parecen a simple vista. Los costos directos de combatir un incendio y recuperar la mina son muy elevados aun cuando se trate de un fuego de proporciones moderadas.

Cuando se pierde el dominio del incendio, los gastos se incrementan rápidamente y pueden ascender a varios millones de dólares antes de que sea posible controlar el fuego y se pueda reiniciar la explotación en la zona afectada.

En muchas minas, las pérdidas materiales debido a incendios podrían parecer tan reducidas que conducen a pensar que las medidas de protección carezcan de importancia, pero debido a la posibilidad permanente de pérdidas de vidas por causas de incendios dentro de las minas o en las cercanías de ellas, hay obligación de tomar las precauciones debidas al grado del riesgo. No obstante de que el número total de muertos en incendios de minas es menor que el atribuido a cualquiera de las otras causas de accidentes fatales ocurridos en ellas, la posibilidad de que en un solo incendio pierda la vida un grupo numeroso de hombres, exige que se dé gran importancia a la prevención de su ocurrencia.

### Definición de incendio

Puede definirse como la producción y propagación del fuego en zonas favorables de oxidación. El incendio es en sí un fenómeno químico conocido como combustión que resulta de la combinación del oxígeno del aire con sustancias carbonosas combustibles en presencia del calor. A este conjunto se le denomina el “triángulo del fuego”.

**El oxígeno**, que es el carburante, existe en el aire en la proporción de 20.93%. **El combustible** es cualquier compuesto que contenga carbono u otro elemento de fácil combinación con el oxígeno del aire entre ellos sulfuros oxidables. **El calor** es la temperatura que inflama el

material combustible y puede producirse de diferentes maneras, una de las cuales es la fricción de los minerales sulfurados y en todo caso para originar incendio basta el calor radiante o el contacto con materiales calientes.

### Incendios en las minas

En las minas subterráneas de sulfuros friables y con mucho enmaderado, los incendios siempre resultan ser desastrosos. Por lo tanto, todo aumento de temperatura en las labores mineras deberá ser controlado y evitado por todos los medios al alcance.

Los incendios en minas metálicas difieren de los incendios y explosiones en las minas de carbón porque en estas generalmente hay más gases explosivos que en las metálicas originando riesgo de explosiones. En cambio en las minas metálicas debido a que generalmente son más extensas dentro de una propiedad minera producen pérdidas mayores pero con menor número de muertes.

En las minas metálicas son más fáciles de combatir los incendios en su etapa inicial que en las minas de carbón porque en aquellas no existen gases explosivos pero los grandes volúmenes de humo y gases generados son difíciles de confinar, detener o controlar y si el trabajo de cortarlos se prolonga, el humo y los gases representan una amenaza continua porque aparecen en las áreas menos esperadas en especial si hay muchas interconexiones de labores.

### Clasificación de los incendios en minas metálicas

Se pueden reconocer dos grupos: 1. Incendios accesibles o abiertos, 2. Incendios inaccesibles.

Los incendios en zonas abiertas pueden controlarse en tiempo relativamente corto en especial si se detectan en sus inicios pero los incendios en lugares inaccesibles requieren mayor tiempo y alto costo para localizarlos, aislarlos o extinguirlos permanentemente.

El peligro de un incendio en un pique es mayor que en otro lugar accesible como una labor de arranque, pero los incendios en rellenos o áreas abandonadas presentan grandes peligros por el tiempo que duran y las mayores áreas de exposición que abarcan.

### Tipos de yacimientos expuestos a incendios

La experiencia indica que los cuerpos de pirita expuestos al aire son más propensos a incendios que cualquier otro tipo de mineral. En la mina Lourdes de Cerro de Pasco, por ejemplo, se han detectado hasta 6 tipos de pirita los cuales constituyen cerca del 86% de todos los sulfuros existentes en este yacimiento. De acuerdo al estudio mineragráfico, las piritas van desde las de grano grueso hasta las de grano fino.

De todas estas variedades, la pirita de grano fino y

poroso puede pensarse que es la más propensa a incendiarse por presentar máxima superficie de exposición a la circulación del aire.

### Características de la pirita inestable

La pirita inestable que es la pirita de grano fino, generalmente proviene de la alteración de la pirrotita, así lo demuestran más de 40 incendios originados en las labores mineras de la mina Lourdes a lo largo de los últimos 70 años de operación subterránea. En pocos casos las zonas reabiertas para explotación pudieron ser minadas completamente pero bajo condiciones de alta temperatura (45 °C o más), presencia de fuertes cantidades de gases sulfurosos y a veces emanaciones violentas de gases y humo que obligaban a evacuaciones del personal.

### Posibles soluciones contra los incendios

Puede acudir a cuatro posibles acciones: a). Inundación de la zona incendiada, b). Sofocación del área incendiada mediante el gas CO<sub>2</sub>, 3) Aplicación del sistema Plenum y 4) Uso de lodos y relleno hidráulico.

El primer método no da resultados por el alto costo de bombeo del agua, alto costo de reapertura de las zonas inundadas y posible dificultad de retener el agua en una zona fracturada. Además el agua acelera la velocidad de oxidación de las piritas generando calor y nuevos incendios.

El uso del gas CO<sub>2</sub> no es recomendable por la dificultad de evitar escapes.

El sistema Plenum consiste en mantener la zona incendiada bajo presión de aire (2 a 5 lbs/pulg.<sup>2</sup>), mediante ventilación forzada para enfriar el terreno y permitir el trabajo dentro de la zona. Este sistema puede fallar por falta de aislamiento.

El uso de lodos y relleno hidráulico es efectivo y se aplicó por primera vez en las minas de Butte, Montana. Consiste en rellenar hidráulicamente con material inerte y fino tipo lodo, todos los espacios vacíos al rededor de la zona incendiada. El método requiere instalación especial en los accesos de los niveles (tuberías, bombas, etc.), y requiere tapones de concreto que soporte altas presiones (140 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente). Este sistema se usó con éxito en la mina Lourdes de Cerro de Pasco. Actualmente, se tiene el relleno hidráulico con o sin cemento como herramienta básica de control de incendios subterráneos.

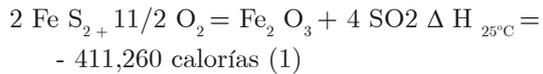
### Causas de los incendios en las minas

Son diversos como: uso de equipos e instalaciones eléctricas, uso de soldadura en interior mina, uso de explosivos, ignición de polvos, gases y vapores, incendios provocados, combustión espontánea del azufre en sulfuros. Otros como chispas de locomotoras, carburo

usado y abandonado en ciertos lugares de la mina, impacto de un rayo, etc.

### Origen de los incendios espontáneos en las minas

Gran parte de estos incendios son originados por la oxidación rápida de minerales sulfurosos cuando se encuentran finamente divididos y hasta pueden arder en contacto con materiales inflamables sean estos otros sulfuros o madera. La pirita de grano fino genera reacción exotérmica al contacto con el oxígeno del aire según la siguiente expresión:



Esta reacción es a temperatura ambiente liberando 411,260 calorías/mol, cantidad de calor que puede dar inicio con facilidad a un incendio de grandes proporciones.

Los frentes de avance después del disparo pueden oxidarse rápidamente elevando la temperatura. Algunos sulfuros como los de hierro y zinc pueden arder por fricción desarrollada por un derrumbe o por el arranque del mineral por lo que deberá diseñarse métodos de minado apropiados que no originen fricción y puedan ser rellenados rápidamente. Estos sistemas son por ejemplo el de cuadros horizontales, gradines invertidos, gradines ascendentes o techos en arco (arch back).

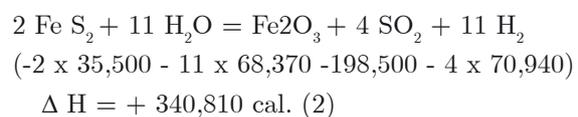
En algunas minas, los incendios pueden estar asociados además de cuerpos piriticos a ciertos minerales como los de plomo y zinc.

### Investigación requerida

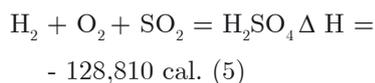
Todo programa de investigación sobre orígenes de los incendios en minas debe iniciarse confeccionando planos geológicos detallados donde deben anotarse datos como temperatura de la roca y ubicación de muestra de mineral y roca para estudios macroscópicos y microscópicos.

En general, de todos los incendios subterráneos registrados y de las labores que mantienen altas temperaturas pueden sacarse algunas conclusiones:

- Las áreas propensas a incendios están asociadas a concentraciones de pirita o minerales, tales como blenda o marmatita finamente granuladas formando masas suaves y desmenuzables.
- Hay una pirita inestable recubriendo a piritas y blendas primarias. Esta pirita reacciona con rapidez en contacto con el agua. La reacción es exotérmica y se puede resumir en la siguiente ecuación:



El hidrógeno desprendido debe reaccionar con el oxígeno del aire o con el azufre puesto en libertad al descomponerse la pirita. Las reacciones más probables son:



La primera reacción requiere 340,810 calorías que debe tomarla del calor liberado por la reacción entre la pirita y el oxígeno del aire que es una reacción exotérmica (ecuación 1). La condición para que el agua reaccione es que debe estar en estado de vapor y a elevada temperatura ya que a bajas temperaturas es estable y no cede su oxígeno aún en contacto con piritas inestables.

Se pueden plantear otras ecuaciones posibles para la descomposición de la pirita al contacto con el agua debiendo buscarse su fundamento en la termodinámica.

De las ecuaciones de reacción 3 al 5 dadas, la ecuación 5 es de mayor probabilidad de ocurrencia ya que se ha observado que donde existía materia orgánica, esta fue destruida lo que prueba la presencia de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

La reacción de la pirita con el agua puede probarse en los montones de mineral como en el caso de la mina Lourdes de Cerro de Pasco, donde las acumulaciones frescas de mineral originan pequeños incendios al contacto con el agua de la perforación o con el agua usada para humedecer el mineral tratando de reducir el polvo generado en el frente de perforación.

El control de los incendios espontáneos podría ser efectivo si se conociera las reacciones exotérmicas que se producen en el interior de las labores mineras ya que se podría marcar estos puntos en los planos geológicos o planos de avance subterráneo ahorrando tiempo y dinero porque permitiría tomar medidas solo en estas zonas específicas.

### Estudio de las áreas que pueden producir incendios.

Especial interés para investigar las causas de los incendios, lo constituyen las zonas donde existe pirita finamente granulada. Debe examinarse cuidadosamente la roca encajonante que presenta temperatura anormal. Primero debe efectuarse un mapeo del área reportando las rocas de alta temperatura y tomando muestras de estos materiales.

### Medición de temperatura

Para registrar calentamiento y enfriamiento de las rocas debe perforarse a un cierto intervalo en roca caliente y en frío. Luego se dispara y se procede a perforar otros taladros de la misma forma anterior. Se registran las temperaturas diariamente en cada taladro antes y después de la voladura. Se podría obtener lecturas reales de temperatura suspendiendo termómetros en el centro de los taladros mediante cordeles apoyados en los bordes o cuellos de los taladros. Las lecturas pueden tomar cinco minutos hasta que las variaciones no sean apreciables.

### Muestreo de la roca encajonante

De cada taladro se toma 8 kg de muestras dentro del área de un círculo de 30 cm de diámetro alrededor del taladro. Estas muestras se envían al departamento de geología para el análisis correspondiente. Los taladros muestreados deben pintarse para su identificación y facilidad de ubicación posterior.

### Mapeo geológico

Se debe mapear las labores y colocar los datos en planos a escala 1/200. Los datos de los taladros tanto fríos como calientes deben ir en planos a escala 1/100 para mayor detalle observando la distribución de la pirita y minerales así como su granulometría. La correlación debe hacerse de temperatura vs. porcentaje de pirita. También puede rociarse con agua el área disparada para observar su comportamiento con relación a la temperatura.

### CONCLUSIONES

De las observaciones efectuadas en gran número de labores mineras subterráneas entre ellas las de la mina Lourdes en Cerro de Pasco, se llegó a ciertas conclusiones:

1. Existe una forma inestable de pirita que incrementa su temperatura al permanecer en contacto con el aire.
2. La máxima temperatura que puede alcanzarse no es suficiente para comenzar a quemar la madera, pero es tan alta como para causar una reacción exotérmica en la asociación galena-esfalerita ferrítica, con el aumento consiguiente de la temperatura y la ignición de la madera.
3. Si existe presencia de pirita inestable y esfalerita a la vez, la temperatura puede llegar a ser peligrosamente elevada.
4. La composición mineralógica, el tamaño de grano, la asociación de minerales, las anomalías estructurales e impurezas de los minerales, tales como la pirita y esfalerita, pueden originar inesta-

bilidad química y generar reacciones exotérmicas en galerías y tajeos.

### Procedimientos actuales para dominar los incendios

La seguridad del personal y la conservación de los bienes materiales hacen que la prevención de incendios sea una de las funciones más importantes en toda organización de seguridad en una operación minera.

Se tienen a disposición varias formas de combatir incendios en labores subterráneas como el agua contra incendios, extinguidores de incendios, confinamiento del incendio, inundación de la mina, uso del anhídrido carbónico, relleno hidráulico y el control de la ventilación.

El agua contra incendios en muchos casos puede ser eficaz para combatir el fuego pero si hay piritas inestables al contacto con el agua tiende a reaccionar violentamente con gran producción de calor, no obstante es recomendable tener un sistema de tuberías, bombas y grifos de agua para casos de emergencia. Se puede instalar también en piques, galerías y chimeneas, rociadores de agua con el objeto de esparcir el agua en finas gotitas para absorber los gases y el humo.

Un extintor de incendio puede apagar un incendio en su fase inicial. Por lo tanto es útil instalar extinguidores en puntos claves del interior de una mina. Algunos de estos puntos clave son estaciones de pique, comedores del personal, bodegas de herramientas, áreas de mantenimiento, polvorines.

El confinamiento o control del incendio debe aplicarse cuando éste es imposible de combatirlo directamente o se encuentra en lugares inaccesibles o en zonas de derrumbes. El último recurso es taponar, inundar, confinar o un relleno hidráulico a presión. Si el tapón es hermético el contenido de oxígeno del aire dentro de la zona confinada disminuirá rápidamente a un nivel por debajo del porcentaje de sustentación de la combustión por lo que se apagará el fuego. Muchas veces, sin embargo, el incendio puede continuar aún con bajo porcentaje de oxígeno, esto indica que la extinción total del fuego requiere que el taponado permanezca el tiempo suficiente para permitir que la zona confinada se enfríe hasta que haya desaparecido el monóxido de carbono puesto que la presencia de este gas es un indicio de la existencia de combustión. Generalmente, para que el incendio se considere apagado el oxígeno debe estar por debajo de 4%.

Se puede colocar provisionalmente cortinas de lona u otro material. El Bureau of Mines de USA recomienda usar cortinas inflables o bolsas alargadas de lona fabricadas de algodón recubiertas con neopreno y provistas de un depósito plástico en su interior. Este dispositivo

al ser inflado con aire cubre la abertura de la galería amoldándose a la forma de la labor minera.

La inundación de la mina puede ser el último recurso cuando el incendio ha tomado gran incremento y no se puede combatir directamente con ninguno de los métodos anteriores. Esta medida, sin embargo, no debe aplicarse donde existan piritas inestables ya que liberarán más calor en contacto con el agua. Además los costos de bombeo pueden ser altos con la probabilidad de que los sulfuros y lutitas carbonosos vuelvan a arder espontáneamente después de haber recuperado la mina.

El anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), en forma gaseosa, líquida o sólida puede enfriar y apagar incendios en minas, en especial cuando los procedimientos directos o de taponamiento no resultan efectivos.

El relleno hidráulico se aplica en incendios graves y cuando todos los procedimientos de combate fallan. Es un método seguro pero costoso. En este sistema todos los vacíos son rellenados y consolidados, el calor latente es arrastrado por el drenaje y el área puede ser reabierto con seguridad poco tiempo después de que el drenaje se haya terminado. No existe peligro de reaparición del fuego y además se asegura buena ventilación y condiciones saludables para continuar la operación minera.

Todo relleno hidráulico requiere tapones de concreto reforzado para confinarlo a la más pequeña área práctica para lo cual debe tenerse a la mano los planos de niveles y tajeos para ubicar los lugares de sellado, las aberturas, zonas falladas, conexiones verticales y horizontales de la mina. Debe determinarse el tamaño de los tapones pudiendo considerarse paredes altas. El área debe ser planimetrada para determinar la cantidad de relleno requerido. En la mina Lourdes de Cerro de Pasco, por ejemplo, el sistema de relleno con lodos y relaves ha tenido éxito. En superficie cerca del pique se tiene una planta de lodos formado por materiales inertes como cuarcitas, sílice y carbonatos con una granulometría de 38% a malla -200, densidad  $1,500 \text{ kg/m}^3$ . El sistema consiste de una sección chancado y otra de molienda. La pulpa que mejores resultados a dado tiene 65% sólidos. Los lodos se bombean a un tanque agitador y de estos son conducidos por el pique Lourdes, en tuberías de fierro de 6" de diámetro a los diferentes niveles de la mina. La distribución en los niveles se hace por tuberías de 4" de diámetro y para efectuar el relleno hidráulico se requieren tapones de concreto reforzado para confinar el relleno a la más pequeña área práctica. Los lodos se introducen en la zona de incendio en forma intermitente dando tiempo a que el material fragüe. Es preferible que la lama penetre por el fondo del área incendiada a fin de levantar uniformemente el nivel de la sedimentación lo que

permitirá expeler los gases hacia arriba. El drenaje del agua no origina problemas, una gran parte es absorbida por el mineral o roca circundante, otra parte se evapora por el calor y cierta proporción forma parte del lodo al solidificarse debido al alto contenido de caliza.

El control de la ventilación permite reducir los flujos y presiones de aire que contribuye a la rápida reducción del incendio.

**Procedimientos contra incendios en la mina Lourdes**

Se pueden adoptar muchas medidas para prevenir los incendios en las minas y en particular en la mina Lourdes de Cerro de Pasco. Entre estas tenemos: 1. Evitar frecuencia de derrumbes, para lo cual influye el método de explotación y el sostenimiento, 2. Reducir al mínimo el material inflamable como sostenimiento o como barrera aislante del fuego y para evitar la filtración de aire a través del relleno, 3. Romper solo cantidades de materiales que pueden ser extraídos antes de generar altas temperaturas, 4. Para rellenar un tajeo limpiar todo el mineral sulfurado y no usar para relleno minerales o desmonte con contenido de pirita. No usar encribado de madera en hastiales de galerías sino cemento con gunita, 5. Usar para relleno material inerte tipo cascajo que tienda a aglomerarse con el tiempo, 6. Contar con un sistema de ventilación mecánico de impulsión y de succión reversibles que generen presiones de 1.5 a 6 pulg. de agua, 7. Identificar los factores que influyen en los minerales para originar reacción exotérmica. Se conoce que deben existir agua, pirita inestable y blenda o marmatita en estado finamente granulado y fresco para la generación de calor, pero también la pirita inestable aislada puede producir reacciones violentas.

**Previsiones contra incendio**

La posibilidad de ocurrencia de incendios en la mina requiere que se tomen ciertas medidas contra incendios en depósitos minerales y en especial en aquellos donde ya se han producido estos incendios. Entre estas acciones tenemos las siguientes:

1. Puertas contra incendios. Estas son de planchas de fierro montadas en marcos de concreto que se instalan en niveles superior e inferior y en subniveles de las áreas propensas a incendios. Estas puertas tienen el propósito de mantener confinados los gases de la combustión y contener al relleno dentro del área de incendio.
2. Cámaras de refugio y barricadas. Estas son construidas por los mismos hombres atrapados por el fuego confiando en que el incendio generado va a ser taponeado y controlado rápidamente (Anon, 1981).

3. Equipos y sistemas de protección. De acuerdo con lo normado por el Bureau of Mines de USA, existen varios tipos de máscaras que pueden ser usados en trabajos de recuperación y en rescate de personal atrapado por los gases y el fuego: Aparatos de respiración Mc. Caa de 2 horas de duración, aparatos Chemox de 45 minutos, Máscara de oxígeno de 30 minutos, Máscara All Service (Universal), Máscara Self rescuer (auto rescate) y otros.
4. Salidas de emergencia. Estas son adicionales a las salidas normales y generalmente son las mismas que se usan para la extracción del aire de mina pero que pueden ser peligrosas a causa de los gases y humos. En este caso es necesario invertir el sentido de la circulación del aire de la mina (Goodman and Kissel, 1989).
5. Señales de alarma. Son de varios tipos como el sistema del mercaptano de etilo, que es un gas de olor desagradable no tóxico que se puede descargar en pequeños porcentajes en la línea de aire a gran presión. La alarma telefónica que puede no tener la rapidez requerida por cuanto se no se tienen instalación en los frentes de avance y tajeos.

**Breve reseña de un incendio ocurrido en la mina Lourdes de Cerro de Pasco**

**Ubicación.** El incendio se produjo en el tajeo 650, piso 1, bloque Mesapata entre los niveles 600 y 800 (Fig. N.º 1). Este tajeo trabajado por los sistemas de cuadros de madera y gradines rectos, es un pilar rodeado de labores antiguas rellenas (Cerro de Pasco Corp/Centro Min Perú, 1974).

**Origen del incendio.** El tajeo registraba temperatura normal. Al avanzar los cortes verticales se conectó aire fresco a los rellenos antiguos vecinos y por alguna fricción desarrollada se originó el incendio en algún punto del tajeo antiguo. Es posible que el tajeo haya sido relleno con desmonte de sulfuros y no con desmonte silíceo.

Al presentarse un exceso de vaporización y temperatura alta en el tajeo se intensificó el control de temperatura y gases con los siguientes promedios:

Fecha	%CO	Temp. °C	Observaciones
17 de Marzo	0.000	29	Buen nivel de O <sub>2</sub>
18 de Marzo	0.060	33	Falta de oxígeno

El día 18 a las 4 a.m. el humo estaba lleno cubriendo un área 45 m de radio. No se podía penetrar en la zona, por la densidad del humo, la luz de las lámparas eléctricas no alumbraban. Después de un rápido reconocimiento del lugar se procedió a organizar el ataque.

**Plan de ataque contra incendio.** Este consistió en la sincronización de las siguientes acciones: 1) control permanente de gases como el monóxido de carbono, temperatura y dirección del aire en los límites de la zona del incendio, 2) cambio del circuito de ventilación para succionar todo el humo de la zona y expelerlo a superficie, 3) construcción de tapones para cortar todas las entradas de aire fresco a la zona del incendio, 4) Atomización del agua en zonas vecinas a fin de impedir que se reseque la madera y 5) ejecución de trabajos con personal equipado y entrenado debidamente.

**Ejecución del plan.** Para efectuar este plan se convocó a todas las cuadrillas de salvataje debidamente equipadas y se abrieron registros para controlar la entrada y salida del personal de la mina. El personal entraba en cuadrillas o parejas pero nunca solos. Mientras se desarrollaban los trabajos, tanto en el Departamento de Seguridad como en las bodegas de los niveles 600 y 800, se establecieron cuadrillas permanentes de salvataje compuestos por 6 hombres c/u.

Cuando se controló la salida del humo por una chimenea de Mesapata hasta el exterior, se pudo llegar hasta la parte afectada donde las rocas estaban en ignición, el enmaderado se carbonizaba lejos del incendio y toda la zona estaba en peligro de derrumbarse al resecarse la madera. Después de un mes se pudo limitar casi toda el área del incendio construyendo tapones de concreto en el Nivel 800. Luego se inició el relleno con lama preparada en superficie y conducida por tubería de 6" de diámetro. Por el Nivel 600 se rellenaron los derrumbes con material inerte a través de fajas transportadoras.

Se establecieron puestos permanentes de control de la dirección de circulación del aire, porcentaje de oxígeno y de CO. Todo el personal que entraba a la mina tenía que utilizar las máscaras de suministro de oxígeno y las antigás.

**Organización del personal.** Su objetivo básico es salvar la vida de hombres atrapados en el interior de la mina y evitar riesgos innecesarios. Lleva a cabo su labor del modo siguiente:

El superintendente dirige el plan de acción, se entienda con organismos ajenos a la mina y solicita las ayudas disponibles. El oficinista de mina atiende el teléfono y facilita toda la información y facilidades solicitadas. El almacenero permanece en el almacén proporcionando herramientas y equipo, el jefe mecánico facilita el equipo mecánico y la ayuda requerida, el controlador lleva constancia de los hombres que entran y salen de la mina, el jefe de mina organiza las operaciones en el interior en colaboración con el superintendente, dispone las brigadas y cuadrillas según se necesiten, el jefe de ingeniería facilita planos,

croquis y diagramas y ayuda al superintendente y jefe de mina. El ingeniero de seguridad reúne a las cuadrillas provistos de aparatos y dispone lo necesario para las operaciones de salvamento y lucha contra el fuego. En todo caso debe tenerse siempre una organización permanente para casos de contingencia.

### Costo de los incendios en mina

Los costos de combatir un incendio y recuperar la mina son muy elevados aún cuando se trate de un fuego de moderadas proporciones. Algunos autores (Harrington, D., y otros, 1949), indican que cuando se pierde el dominio del incendio, los gastos ascienden rápidamente. Un fuego en una galería enmaderada puede costar entre 10,000 y 50,000 dólares, en un pique enmaderado puede alcanzar un millón o más de dólares cuando se suman todas las pérdidas, y ha habido varios incendios que afectaron a gran parte de las reservas de mineral que costaron varios millones de dólares cada uno. Los costos los podemos dividir en directos e indirectos. Los directos comprenden desembolsos por materiales, mano de obra, relleno hidráulico, instalaciones de sistemas contra incendio, puertas de acero, concreto armado, transporte de materiales y supervisión. Los costos indirectos incluyen el valor estimado de las reservas minerales afectadas por el incendio y que no se pueden recuperar a corto y quizás a largo plazo, el tiempo perdido por los trabajadores que laboran en la zona afectada y que tienen que paralizar el trabajo hasta la vuelta a la normalidad.

### Costo típico de incendio en una mina

La información que se presenta en forma muy resumida, se refiere al incendio descrito anteriormente en la mina Lourdes de Cerro de Pasco.

Costo directo US \$

1. Puertas grandes y pequeñas contra incendio, de acero en niveles 600 y 800:

a. Materiales de construcción (madera, var. de acero, cemento, arena, agregados) 5,250

b. Transporte de materiales 510

c. Jornales 2,300

d. Supervisión 1,790

e. Voladura y limpieza 600

f. Fabricación (materiales + mano de obra) 3,200

Total 13,450

2. Consumo de productos químicos durante el incendio (máscaras, filtros, tubos indicadores, tubos de humo, etc.) 10,500

3. Relleno de lodos y relaves (bombeo de 32,000 ton. de lodos a \$ 0.60/ton.) 19,200

Gran total 43,500

Costo indirecto

Este costo puede evaluarse si se conoce la reserva de mineral afectado por el incendio. Esta pérdida depende del volumen del mineral que se hace inaccesible por causa del incendio y también depende del tiempo que tendrá que permanecer la zona cerrada que puede variar desde pocos días en los casos más favorables hasta muchos años en los casos más desfavorables. Solo para dar una idea de la magnitud de estas pérdidas, en Cerro de Pasco hay zonas incendiadas cuyas reservas minerales pasan de los 7 millones de toneladas métricas y suponiendo un valor del mineral de \$ 20/ton m. en el peor de los casos dada su ley en plata se puede llegar a una suma tal como 16 millones de dólares.

Esto en sí es relativo porque en cualquier tiempo la zona siniestrada puede entrar en explotación si es que se logra combatir el incendio en forma eficaz.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Harrington, D., Pickard, B.C., Wolflin, H. M. (1949). *Metal mine fires*. Bureau of Mines Tech. Paper 314. Bureau of Mines, Department of the Interior. Superintendent of Documents, U.S. Government.
- [2] Goodman, G. V. R., Kissell, F. N., (1989). *Fault Tree Analysis of Miner Escape During Mine Fires*. Proceedings, 4<sup>th</sup> US Mine Ventilation Symposium, University of California, Berkeley, SME. Littleton, Co. pp. 57-65.
- [3] Anon., (1981). *Underground Mina Disaster Survival and Rescue: An Evaluation of Research Accomplishments and Needs*. National Research Council, Committee on Underground Mine Disaster Survival and Rescue, Washington D.C.
- [4] Cerro de Pasco Corp/Centro Min Perú. (1974). *Reportes internos de Seguridad Minera*, Mina Lourdes, Cerro de Pasco.

**FIGURA N.º 1: UBICACIÓN Y ELEMENTOS DE CONTROL DE UN INCENDIO EN MINA.**

